

942

## ZEEWAARTSE KUSTVERDEDIGING TEXEL



A.K.J. van der Laan

# ZEEWAARTSE KUSTVERDEDIGING TEXEL

Delft / Den Haag, augustus 1990

Technische Universiteit Delft  
Faculteit der Civiele Techniek  
vakgroep Waterbouwkunde  
sectie Waterbouwkunde

Rijkswaterstaat  
Dienst Getijdewateren  
Watersystemen Noordzee

Afstudeerder: A.K.J. van der Laan  
Hoogleraar: Prof. ir. K. d'Angremond  
Begeleiders: dr. ir. J. van de Graaff (TUD)  
ir. M. Pluijm (DGW)

## VOORWOORD

Vanaf september 1989 tot en met augustus 1990, met een onderbreking van de tentamenmaanden januari en juni, heb ik in het kader van m'n afstuderen het beleidsalternatief 'Zeewaarts' voor de locatie Texel uit de discussienota 'Kustverdediging na 1990' onderzocht.

Het onderzoek is in samenwerking met en bij Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren uitgevoerd. De resultaten van dit onderzoek zijn in dit verslag weergegeven.

De examencommissie bestaat uit de volgende personen:

Afstudeerhoogleraar: Prof. K. d'Angremond,

Begeleiders: dr. ir. J. van de Graaff, (TUD),  
ir. M. Pluijm, (Dienst Getijdewateren).

Tot slot wil ik iedereen danken die hebben bijgedragen tot de totstandkoming van dit verslag, in het bijzonder dhr. W. Visser voor zijn praktische adviezen en inzichten.

Anske van der Laan,  
Delft / Den Haag, augustus 1990.

## SAMENVATTING

In de discussienota 'Kustverdediging na 1990', gepresenteerd in mei 1989, somt Rijkswaterstaat vier mogelijkheden op om het hoofd te bieden aan de verdere afkalving van strand en duin. Deze vier alternatieven zijn: terugtrekken, selectief handhaven, de kustlijn handhaven zoals die er op dit ogenblik bij ligt en het aanvullende alternatief "zeewaarts".

Dit laatste alternatief wordt in dit verslag uitgewerkt voor het kustvak Eierland op Texel. Als eerste wordt een beschrijving van het kuststelsel gegeven, welke is onderverdeeld in de volgende drie hoofdsystemen: De gesloten Hollandse kust, Waddeneilanden en Waddenzee en Zeeuwse en Zuidhollandse eilanden en Delta. Hieruit blijkt dat de gehele Nederlandse kust achteruit gaat en dat de problematiek op Texel niet uniek is.

Nadere bestudering van het Waddengebied toont aan dat met de afsluiting van de Zuiderzee een herverdeling van sediment in de Waddenzee is opgetreden en dat dit proces zich nog steeds aan het voltrekken is. Hieruit zou een van de hoofdoorzaken van de erosie op Texel verklaard kunnen worden.

Voor de laatste jaren baart de kustachteruitgang op Texel zorgen. Tot de eerste suppletie in 1979 was deze achteruitgang vrij constant ( $\approx 7$  m/jaar). Om verdere kustachteruitgang tegen te gaan zijn in de loop der jaren verschillende mogelijkheden onderzocht en uitgevoerd: aanleg van de Bolwerken Robbengat en Eierland, aanleg stroomgeleidende hoofden, aanleg kunstmatig zeevierfeld en twee suppleties (1979 en 1984). Na de suppleties zijn grotere verliezen opgetreden dan voor de suppleties.

### Opgetreden veranderingen.

Inhoudsberekeningen voor twee perioden (1970 t/m 1979 en 1980 t/m 1984) voor twee stroken (R.S.P.-lijn/ R.S.P.+ 400 m en R.S.P.+ 400 m/ R.S.P.+ 1000 m) tonen opvallend grote verschillen in zandverliezen. Voor de strook R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m is er zelfs sprake van een verdubbeling van zandverlies per jaar in de periode 1980/1984 t.o.v. 1970/1979. Reden voor deze sterke toename moet gezocht worden bij de suppletie zelf, de te grote zandwinning in het Robbengat en de korreldiameter.



### Berekeningen.

Met bestaande programmatuur zijn berekeningen uitgevoerd om de water- en zandbeweging ter plaatse van het kustvak te simuleren. Bij deze berekeningen is een onderverdeling gemaakt in drie situaties: (1) golven/ getij, (2) getij en (3) storm omstandigheden. De grootste langstransportverschillen worden gevonden bij de component golven/ getij. Deze situatie komt 185 dagen per jaar voor.

Opvallend zijn ook de grote verliezen tijdens storm omstandigheden. Tijdens een storm ontstaat een set up verschil langs het kustvak. Door dit set up verschil treedt een vergrote zandtransportcapaciteit op. Het afgeslagen (duin)zand wordt onmiddellijk afgevoerd en zal voor het kustvak als verloren moeten worden beschouwd.

### Kustverdediging.

Afsluitend is een zeewaartse kustverdediging ontworpen. Deze verdediging bestaat uit zeven golfbrekers evenwijdig aan de kust. De hoogte van de golfbrekers is verschillend; van zuid naar noord loopt de kruinhoogte op. Dit is gedaan om de toename van het langstransport tegen te gaan. Er blijft op deze manier wel een zandtransport mogelijk.

## INHOUDSOPGAVE

### VOORWOORD

### SAMENVATTING

|  |    |
|--|----|
| INHOUDSOPGAVE . . . . .                                | 1  |
| LIJST VAN BIJLAGEN . . . . .                           | 3  |
| HOOFDSTUK 1 INLEIDING EN DOELSTELLING . . . . .        | 4  |
| 1.1 Inleiding . . . . .                                | 4  |
| 1.2 Doelstelling . . . . .                             | 5  |
| HOOFDSTUK 2 BESCHRIJVING VAN HET KUSTSYSTEEM . . . . . | 7  |
| 2.1 Inleiding . . . . .                                | 7  |
| 2.2 De Hollandse kust . . . . .                        | 8  |
| 2.3 Waddengebied . . . . .                             | 9  |
| 2.4 Delta . . . . .                                    | 10 |
| HOOFDSTUK 3 WADDENGEBIED . . . . .                     | 11 |
| 3.1 Waddengebied . . . . .                             | 11 |
| 3.2 Texel . . . . .                                    | 12 |
| 3.2.1 Kustontwikkeling . . . . .                       | 12 |
| 3.2.2 Aanleg van Bolwerk Robbengat en Bolwerk Eierland | 12 |
| 3.2.3 Kunstmatig zeewierveld . . . . .                 | 13 |
| 3.2.4 Zandsuppletie . . . . .                          | 13 |
| HOOFDSTUK 4 OPGETREDEN VERANDERINGEN . . . . .         | 17 |
| 4.1 Inleiding . . . . .                                | 17 |
| 4.2 Werkwijze . . . . .                                | 17 |
| 4.2.1 Meetdata . . . . .                               | 17 |
| 4.2.2 Periodes en begrenzingen . . . . .               | 18 |
| 4.2.3 Berekeningen . . . . .                           | 20 |
| 4.3 Resultaten . . . . .                               | 22 |
| 4.3.1 Periode 1970/1979 . . . . .                      | 22 |
| 4.3.2 Periode 1980/1984 . . . . .                      | 26 |
| 4.4 Analyse en conclusie . . . . .                     | 28 |

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| HOOFDSTUK 5     | BEREKENINGEN KUSTVAK EIERLAND . . . . .                                     | 31 |
| 5.1             | Inleiding . . . . .   | 31 |
| 5.2             | Randvoorwaarden . . . . .   | 31 |
| 5.2.1           | Golfklimaat . . . . .   | 31 |
| 5.2.2           | Getij . . . . .   | 33 |
| 5.2.3           | Sedimenteigenschappen, bodemkarakteristieken en<br>golfparameters . . . . . | 35 |
| 5.2.4           | Bodemschematisering . . . . .   | 36 |
| 5.3             | Resultaten van langstransport berekeningen . . . . .                        | 37 |
| 5.3.1           | Golven en getij . . . . .   | 37 |
| 5.3.2           | Getij . . . . .   | 38 |
| 5.3.3           | Stormomstandigheden . . . . .   | 38 |
| 5.3.4           | R.S.P.+400 m/ R.S.P.+1000 m strook . . . . .                                | 41 |
| 5.4             | Conclusie R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m strook . . . . .                        | 43 |
| HOOFDSTUK 6     | ZEEWAARTSE KUSTVERDEDIGING . . . . .  | 46 |
| 6.1             | Inleiding . . . . .   | 46 |
| 6.2             | Werkingsprincipe . . . . .  | 47 |
| 6.3             | Bepaling van golfbrekerafmetingen . . . . .                                 | 49 |
| HOOFDSTUK 7     | CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN . . . . .                                       | 53 |
| 7.1             | Conclusies . . . . .  | 53 |
| 7.2             | Aanbevelingen . . . . .   | 53 |
| LITERATUURLIJST | . . . . .   | 55 |
| BIJLAGEN        | . . . . .   | 57 |

## LIJST VAN BIJLAGEN

- Bijlage 1, 2 en 3: Gevoeligheidsanalyse van stookbreedte keuze.
- Bijlage 4 t/m 9: Dwarsprofiel van de raaien 26.00, 27.00, 28.00, 29.00, 30.01 en 31.00.
- Bijlage 10: Parameters van invoerfile.
- Bijlage 11: Voorbeeld van invoerfile.
- Bijlage 12: Resultaten van trend dieptelijnen [+1, 0, -1 m].
- Bijlage 13: Resultaten van trend dieptelijnen [-3 m].
- Bijlage 14: Handberekening van getij.
- Bijlage 15: Handberekening van brandingsstroom en stroming t.g.v. set up verschillen langs kustvak Eierland.
- Bijlage 16 t/m 19: Golfhoogte en golfperiode per richtingssector
- Bijlage 20: Gevoeligheidsanalyse van transportformule's.
- Bijlage 21: Verwachtingswaarde van de sign. golfhoogte als functie van het stormvloedpeil op enkele locaties langs de Nederlandse kust.
- Bijlage 22: Duinafslagberekeningen raai 27.00, 29.00 en 31.00 met Duinaf 1.00.
- Bijlage 23, 24 en 25: Duinafslag profielen (DUROS).
- Bijlage 26, 27 en 28: Bodemschematisering met golfbreker van raaien 27.00, 29.00 en 31.00.

1.1 Inleiding

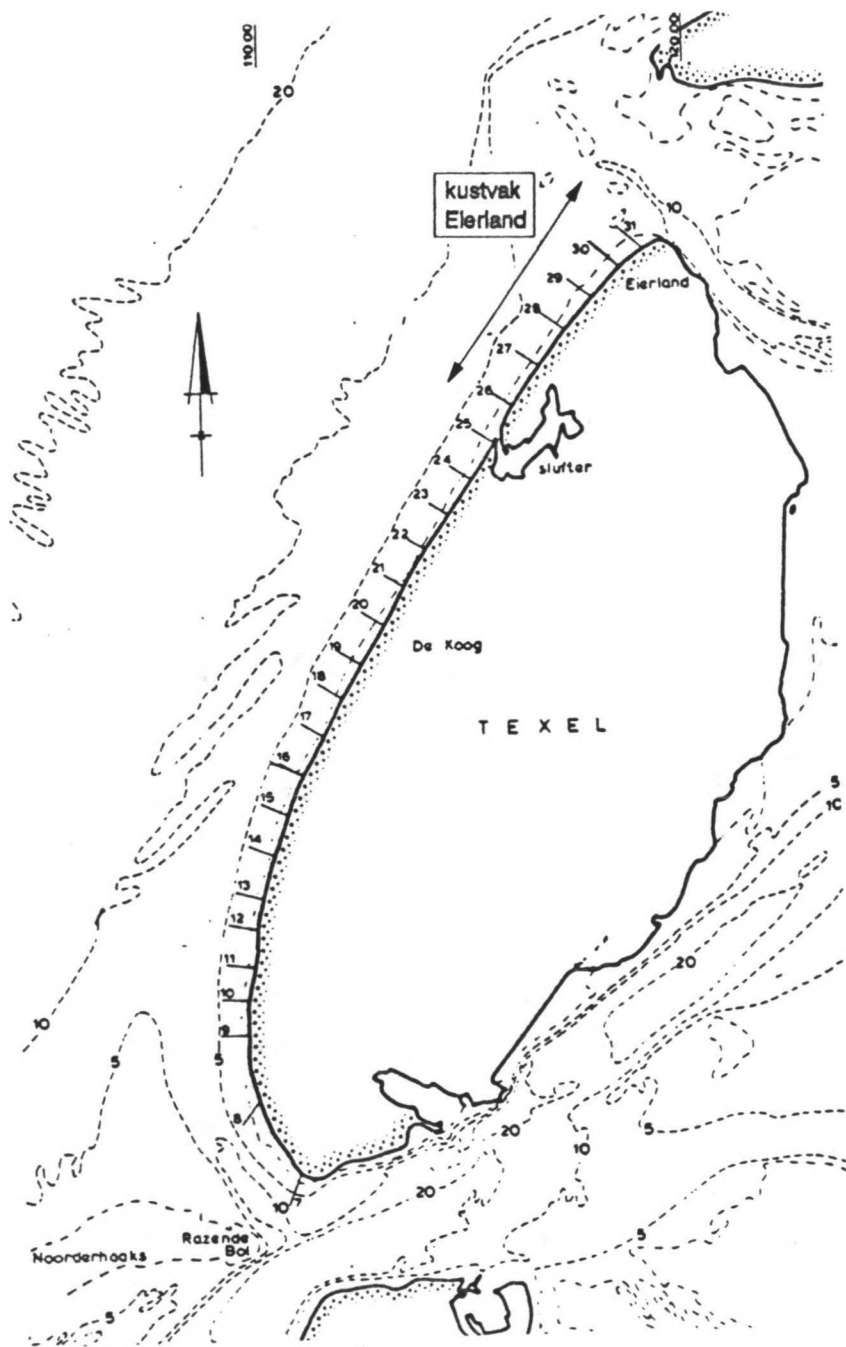
Om de huidige positie van de Nederlandse kust te handhaven en verder terreinverlies te voorkomen, moet er jaarlijks voor ca.  $40 \cdot 10^6$  gulden zand worden toegevoegd aan duinen, strand of onderwateroever. In de discussienota "Kustverdediging na 1990" somt Rijkswaterstaat vier mogelijkheden op om het hoofd te bieden aan de verdere afkalving van strand en duinen. Op dit moment is de veiligheid van het land (volgens de Deltanormen) (nog) niet in gevaar.

Stormen en hoge golven (vooral de hoogte van de maximale waterstand die tijdens de storm wordt bereikt is van belang) zorgen incidenteel voor het verlies van stukken strand of duin. Maar nog meer ondermijnend is de aanhoudende erosie. Daardoor gaat bijna de helft van de Nederlandse kust, die tussen Cadzand en Rottumeroog 353 km lang is, langzaam maar zeker achteruit. Per jaar bedraagt het zandverlies  $8 \text{ à } 10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Dit verlies van zand wordt nog groter door de zeespiegelstijging die als gevolg van het broeikas-effect sneller zal gaan dan eerder werd verwacht. In plaats van 0,2 m per eeuw wordt rekening gehouden met een stijging van 0,6 m en in een pessimistischer scenario zelfs met een stijging van 0,85 m per eeuw.

Het huidige beleid is dat Rijkswaterstaat de gevolgen van de erosie probeert tegen te gaan door op de meest bedreigde plaatsen zand te suppleren; handhaven maar niet tot elke prijs.

Voor het beleid na 1990 heeft Rijkswaterstaat vier mogelijkheden beschreven. Bij het alternatief "Terugtrekken" wordt de kustachteruitgang alleen daar tegengegaan waar de veiligheid in het geding is. Tot het jaar 2000 zal daarbij enige honderden ha. land verloren zijn gegaan, in 2090 zal het totale verlies meer dan 2000 ha. bedragen. De kosten die met dit alternatief gemoeid zijn worden op  $10 \cdot 10^6$  gulden per jaar geschat.

Een tweede mogelijkheid is het "Selectief Handhaven", waarbij niet alleen de veiligheid in ogenschouw wordt genomen, maar ook de bescherming van bijzondere waarden en belangen in het duingebied (zoals natuurbehoud en drinkwatervoorziening). Het verlies aan land tot het jaar 2000 wordt hierbij op 100 ha. geschat en de jaarlijkse kosten op  $20 \cdot 10^6$  gulden. Het derde beleidsalternatief is het handhaven van de huidige kustlijn. De minister van Verkeer en Waterstaat heeft de voorkeur uitgesproken voor dit alternatief; de kosten bedragen ongeveer  $40 \cdot 10^6$  gulden per jaar. Een "aanvullende" oplossing is in



figuur 1.1      Overzichtskaartje eiland Texel



de nota als "Zeewaarts" aangeduid. Daar waar de kust minimale reserves heeft die worden aangetast of daar waar de kustachteruitgang zeer sterk is wordt door een zeewaartse constructie de kust versterkt en wordt natuurlijke aanzanding bevorderd. Dit is het meest kostbare beleid: ca.  $60 \cdot 10^6$  gulden per jaar.

De scenario's van Rijkswaterstaat zijn voorgelegd aan de Raad van de Waterstaat en andere adviesorganen. De politiek zal een keuze moeten doen.

Het beleidsalternatief "Zeewaarts" beperkt zich niet alleen tot het eiland Texel, maar beslaat de gehele Nederlandse kust. Uitwerken van alle locaties zou nog vele jaren studie vergen, daarom wordt in dit afstudeeronderzoek alleen de locatie Texel nader bekeken. Eerst wordt ingegaan op de doelstelling van dit afstudeerwerk, vervolgens wordt ingegaan op de werking van het kustsysteem langs de Nederlandse kust in het algemeen om daarna in detail te kijken naar de erosieproblematiek t.p.v. kustvak Eierland op Texel. Op verschillende manieren, o.a. via kuberingen (inhoudsberekeningen) en langstransport berekeningen wordt getracht inzicht te krijgen in de werking van het morfologisch systeem. Afsluitend wordt in hoofdstuk 6 een zeewaartse kustverdediging ontworpen, welke verdere kustachteruitgang moet tegengaan.

## 1.2 Doelstelling

De Minister van Verkeer en Waterstaat heeft de discussienota "Kustverdediging na 1990" laten opstellen omdat zij voor de "verdediging" van de Noordzeekust een beleidslijn voor de lange termijn wil voorbereiden. Dit beleid is nodig om inhoud te kunnen geven aan de zorg voor de kustlijn die het Rijk op grond van de ontwerp-Wet op de Waterkering voor zich opeist. In de beleidslijn wordt vastgelegd hoe zal worden omgegaan met de erosie die grote delen van onze kust achteruit doet gaan. In de discussienota zijn vier beleidsalternatieven met elkaar vergeleken. Het doel van die nota is de discussie over het kustbeleid op gang te brengen. Een definitieve beleidsbeslissing zal, na inspraak, worden omschreven in de zgn. "Beleidskeuzenota".

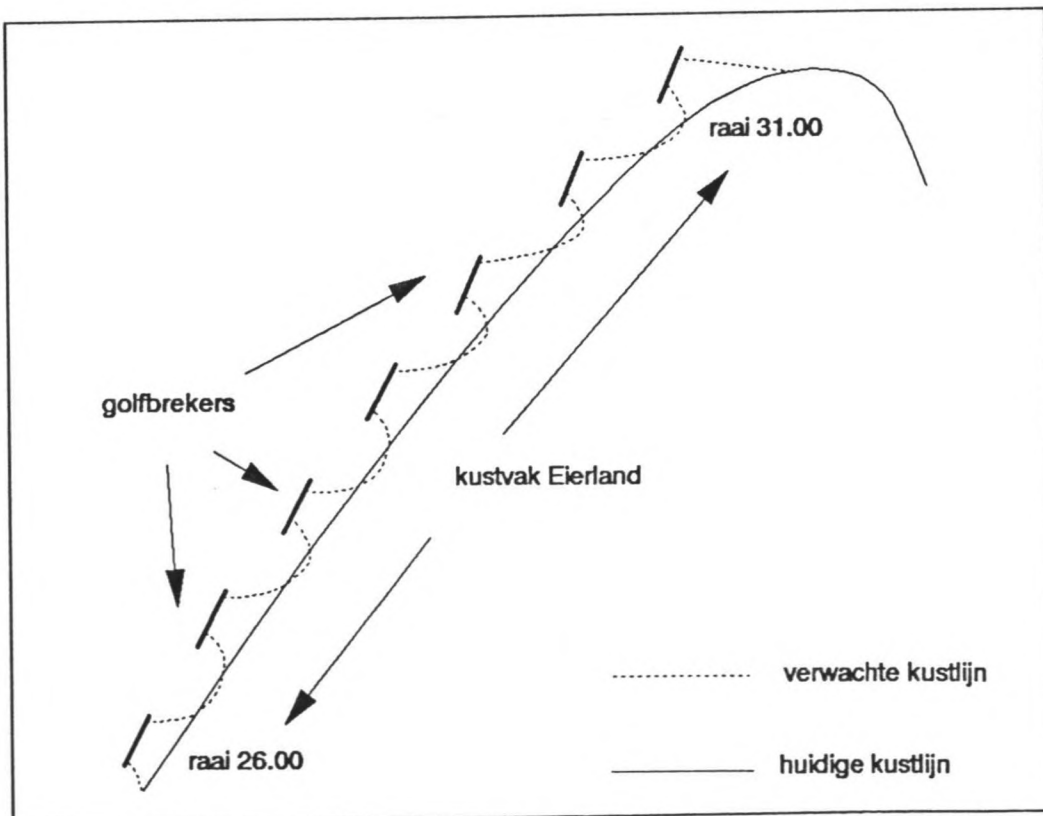
Bij het beleidsalternatief "Zeewaarts" is de doelstelling: versterken van zwakke kustgedeelten en beschermen van alle belangen en waarden in het duingebied tegen de gevolgen van kustachteruitgang. Bij zwakke plekken wordt aanwas gestimuleerd. Hierdoor nemen de reserves toe en kunnen nieuwe mogelijkheden voor natuur en andere belangen ontstaan. Elders wordt de kustlijn gehandhaafd.

Als zwakke plekken worden gezien:

- plekken die sterk eroderen en waar grote belangen en waarden op het spelstaan en/of,
- plekken die weinig of geen ruimte hebben voor opvang van kustachteruitgang.

Het alternatief "zeewaarts" concentreert zich op de eroderende kustdelen, landwinst is een bijprodukt.

In dit afstudeerrapport wordt het alternatief "zeewaarts" voor het kustvak Eierland op Texel onderzocht. Middels fenomenologisch onderzoek wordt allereerst gepoogd inzicht te krijgen in de optredende morfologische veranderingen (erosie!). Met de verkregen resultaten en het verworven inzicht zal een hypothese worden opgesteld met betrekking tot de werking van het morfologisch systeem. Afsluitend wordt gekeken naar de maatregelen die genomen kunnen worden om de erosie van het kustvak Eierland te stoppen. In het bijzonder worden de veranderingen onderzocht in waterbeweging en morfologie bij de bouw van golfbrekers evenwijdig aan de kust (zie figuur 1.2).



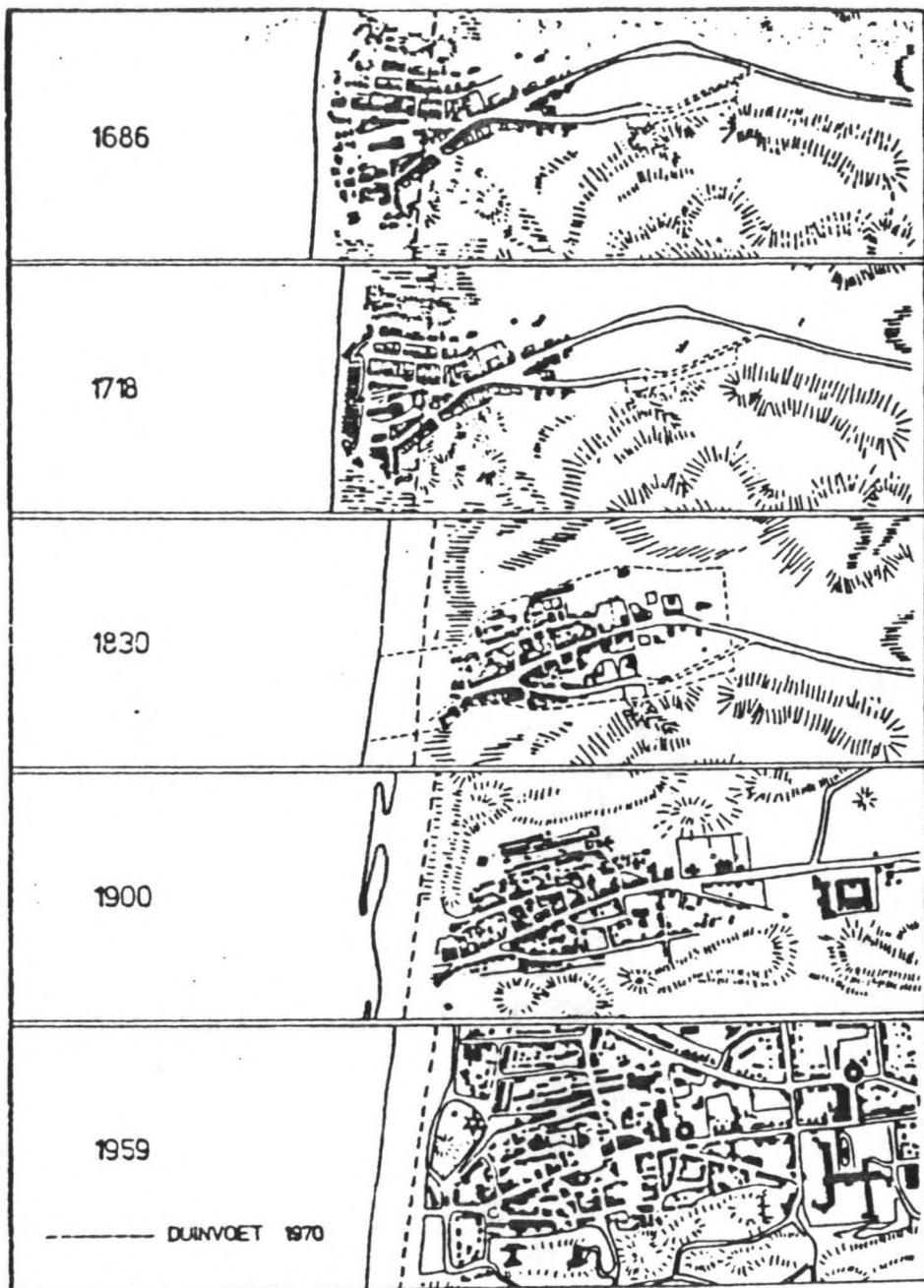
figuur 1.2 Zeewaartse kustverdediging Texel

2.1 Inleiding

De inhoud van dit hoofdstuk is een samenvatting van delen uit technisch rapport nr. 1 (zandsysteem kust) en nr. 5 (kustvoorspelling) van de discussienota 'Kustverdediging na 1990'. Er wordt een beschrijving gegeven van het kustsysteem langs de gehele Nederlandse kust. Het doel van deze samenvatting is om aan te geven dat de erosie problematiek op Texel niet uniek is en dat er vele plaatsen langs de Nederlandse kust zijn die eveneens (erosie/sedimentatie) problemen kennen.

Zoals in de inleiding vermeld staat beperkt het alternatief "Zeewaarts" zich niet tot Texel. Andere locaties zijn b.v. de kop van Noord Holland, Walcheren en Goeree. Uit de beschrijving van het kustsysteem kan een reden worden gevonden waarom op deze plaatsen verdere kustachteruitgang niet gewenst is. Er kan hierbij worden gedacht aan verlies van natuurgebied of gevaar voor (duin)doorbraak. Bovendien wordt achterhaald of deze (erosie/sedimentatie) problemen van recente datum zijn, of dat het proces zich al jaren voltrekt.

De Nederlandse kust met haar estuaria en het Waddengebied heeft zich in een sedimentrijke omgeving in de loop der eeuwen autonoom ontwikkeld. Het na de laatste ijstijd aanwezige landschap en natuurkrachten, zoals rivierafvoeren, golf- en stroomcondities op zee en de relatieve zeespiegelstijging, waren grotendeels bepalend voor de ontwikkeling van deze gebieden. Er is sprake van dynamisch evenwicht tussen de topografie en de waterbeweging. In de estuaria en het Waddengebied veranderen de belangrijkste grootheden, zoals de omvang van het gebied, de afmetingen van de hoofdgeulen, slechts zeer geleidelijk op een geologische tijdschaal. In detail traden en treden er slechts veranderingen op door steeds wijzigende condities langs de kust en in de estuaria en de Waddenzee door het continue proces van meanderen en migreren van geulen en soms door inbraken door de zee als gevolg van de geleidelijke zeespiegelstijging in combinatie met extreme storm.



figuur 2.1 Situatie Egmond aan Zee vanaf 1686

Het Nederlandse kuststelsel kan grofweg verdeeld worden in drie hoofdsyste-  
men, die onderling sterk samenhangen, in die zin dat ze elkaars randvoorwaar-  
den bepalen. Het betreft: - de gesloten Hollandse kust (= kustgedeelte  
tussen Den Helder en Hoek van Holland).  
- Waddeneilanden en Waddenzee.  
- Zeeuwse en Zuidhollandse eilanden en Delta.

## 2.2 De Hollandse kust

De grootste veranderingen vinden plaats in het noorden van Noord-Holland. Nog  
in de 11<sup>e</sup> eeuw was hier een kustboog aanwezig, die vanaf Egmond aan Zee tot  
ten noordwesten van Texel en Vlieland liep. De kustlijn lag hier toen 5 tot  
10 km ten westen van de huidige. Tussen de 11<sup>e</sup> en de 14<sup>e</sup> eeuw vond er sterke  
erosie plaats in dit gebied. De kustboog verdween en ook het achterland over-  
stroomde. Ten noorden van Petten werd de kust gevormd door de eilanden Cal-  
lantsoog, Huisduinen en Texel.

De Hollandse kust wordt al eeuwen gekenmerkt door erosie in het noorden en  
zuiden en stabiliteit in het centrale deel.

Rond 1600 groeide een zandplaat aan aan de noordelijke Maasoever. In 1750 was  
de kust hierdoor 4,5 km zuidwaarts uitgebouwd. Ten noorden van deze zand-  
plaat, bij 's-Gravenzande, was er een kustachteruitgang van 1100 m tussen  
1600 en 1750 en van 300 m van 1750 tot heden. Bij Scheveningen was dit 250  
resp. 50 m. In dit kustgedeelte zijn wegens de sterke erosie al tegen het  
eind van de 18<sup>e</sup> eeuw strandhoofden aangelegd. Het kustgedeelte van Schevenin-  
gen tot Noordwijk aan Zee is sinds 1600 in beperkte mate achteruit gegaan  
(50-150 m). Een uitzondering vormt de kust bij Noordwijk die in deze periode  
een afslag kende van 300 m. Bij Katwijk is sinds 1750 weer een aangroei van  
100 m geconstateerd. Van Zandvoort tot Castricum is de kust sinds 1600 sta-  
biel. Bij Egmond aan Zee is er een kustafslag opgetreden van 160 m tussen  
1600 en 1750 en van 130 m na 1750.

Ten noorden van Egmond aan Zee is de erosie in de periode van 1600 tot 1750  
aanzienlijk geweest. Bij de Hondsbossche Zeewering ging 700 m verloren. Bij  
Den Helder ongeveer 1500 m. Sinds 1750 is er bij de Hondsbossche Zeewering  
375 m verloren gegaan. De kust bij Den Helder bleef stabiel dankzij de aanleg  
van de Helderse Zeewering in 1774. De rond 1556 aangelegde Hondsbossche Zee-  
wering moest herhaalde malen verlegd worden. De laatste keer gebeurde dat in  
1823. Inmiddels is de kust ten noorden en ten zuiden van de zeewering verder  
achteruit gegaan, zodat deze thans als een bastion in zee ligt.



### 2.3 Waddengebied

De ontwikkelingen in het westelijk Waddengebied hangen nauw samen met die in noordelijk Noord-Holland. De westelijke Waddenzee en Zuiderzee zijn ontstaan in de 12<sup>e</sup> eeuw. Er ontstonden toen enkele eilanden, waaronder Texel en Vlieland. Het gebied ten oosten van Vlieland was toen al enkele eeuwen een Waddengebied met barrière-eilanden. De mariene invloed leidde tot de vorming van zeearmen in Groningen en Friesland. Deze zijn later successievelijk weer ingepolderd. Een restant van zo'n zeearm, de Lauwerszee, werd in 1969 afgesloten.

Sinds 1600 is de Noordzeekust van alle eilanden achteruitgegaan. De mate van achteruitgang van deze kustgedeelten verschilt van eiland tot eiland, bij Texel ca. 400 m, bij Vlieland 600 tot 1900 m, bij Terschelling minder dan 300 m. Bij Ameland is de Noordzeekust sinds 1600 netto plaatselijk tot 1200 m achteruitgegaan. In 1750 was het eiland vrijwel uiteen gevallen in drie delen.

De uiteinden van de eilanden vertonen geen uniform gedrag. Bij Texel is de netto groei aan de zuidzijde sinds 1600 ongeveer 2800 m. Hier verhalen herhaaldelijk zandbanken met het eiland. De afslag aan de noordzijde is in dezelfde periode ca. 1600 m. Vlieland vertoont het zelfde beeld, maar in mindere mate. De aangroei aan de zuidwestzijde was ca. 900 m, de afslag aan de noordoostzijde ca. 500 m. Terschelling vertoont sterke aangroei aan zowel de westzijde (ca. 3 km) als de oostzijde (ca. 11 km). Bij Ameland en Schiermonnikoog is in deze periode sprake van afslag aan de westzijde en aangroei aan de oostzijde. Deze oostwaartse verplaatsing is bij Schiermonnikoog het sterkst (ca. 2 km). In de laatste honderd tot honderdtwintig jaar is de Noordzeekust op vrijwel alle Waddeneilanden sterk achteruitgegaan. Vooral bij de zuidwest- en noordwestkust van Texel. Bij de westelijke delen van Terschelling en Ameland vond er aangroei plaats, evenals bij de gehele kust van Schiermonnikoog.



## 2.4 Delta

In de vroege Middeleeuwen werd het noordelijke gedeelte van het Deltagebied nog grotendeels in beslag genomen door uitgestrekte veengebieden. In het zuidelijk deel was de mariene invloed toegenomen sinds de Romeinse tijd. De invloed van de zee blijft toenemen en rond 1300 bestaat het gehele Deltagebied uit eilandjes. Door bedijking wordt land teruggewonnen, maar tussen 1350 en 1650 treedt er nog veel landverlies op langs zeearmen en estuaria. Sinds 1600 is de kust in het gehele Deltagebied achteruitgegaan, met uitzondering van het noordoosten van Goeree (waar een aangroei van 900 m is opgetreden) en het in zee uitgebouwde haven- en industriecomplex Europoort ten noordwesten van Voorne. In Zeeuws-Vlaanderen is de kustlijn gemiddeld 400 m landinwaarts verplaatst. Hierbij zijn enkele polders verloren gegaan. Op Walcheren en Schouwen heeft sterke teruggang plaats gevonden, tot 1 km o.a. bij Domburg. Door het verdwijnen van een met het eiland verbonden zandplaat ligt de kustlijn aan de westzijde van Goeree nu 4 km oostelijker dan in 1600. De teruggang van Voorne was zo'n 500 m. De ontwikkeling in de positie van de gemiddelde laagwaterlijn, gemiddeld over de laatste honderd jaar verschilt per eiland. In Zeeuws-Vlaanderen was er over het algemeen een geringe erosie van minder dan  $\frac{1}{2}$  m/jaar. Bij Walcheren trad vrijwel overal erosie op, met een maximum van 1 m/jaar aan de noordwestzijde. Bij de andere eilanden vindt in deze periode erosie plaats aan de zuidzijden en aanwas aan de noordzijden.

### 3.1 Waddengebied

De morfologische processen in een Waddengebied zijn complex en veranderen continu met het getij en de weersomstandigheden.

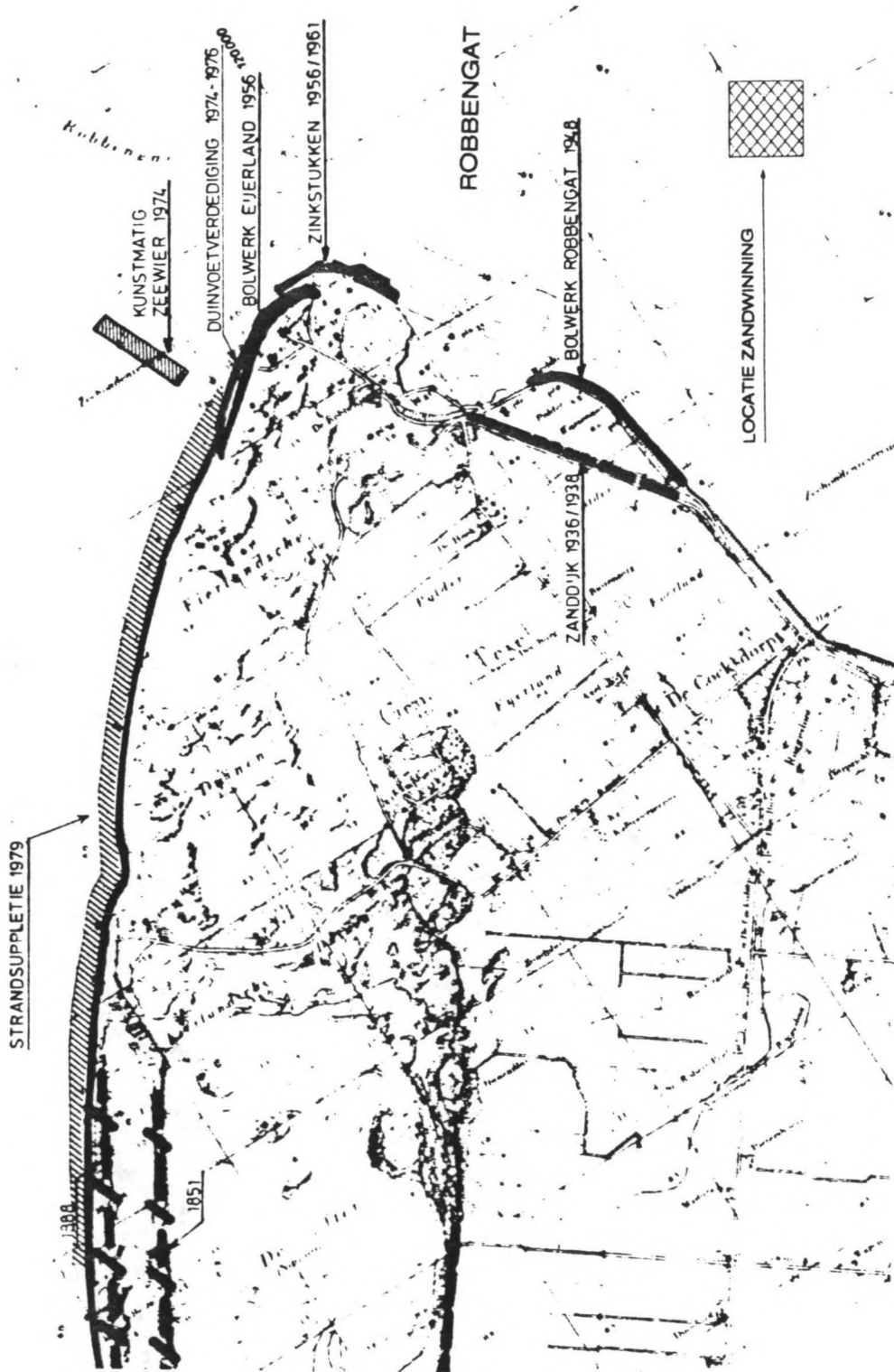
Het sediment in de geulen bestaat overwegend uit relatief grof zand (geulzand) waaruit het fijne sediment door de daar heersende stroomcondities is uitgespoeld. De platen bestaan in het algemeen uit minder goed gesorteerd fijn zand (plaatzanden). Naar de wantijen en de randen toe neemt het slib- en lutum gehalte in de plaatzanden toe en de korrel diameter af.

Het blijkt dat de grootte van een buitendelta van een estuarium of zeegat afhangt van het getijvolume van de vloedkom achter het zeegat. De buitendelta is het resultaat van enerzijds de afbrekende werking van golven en stroom langs de kust en intrekende vloedstroom en anderzijds van de uitbouwende werking van de ebstroom die zand naar buiten brengt.

Door de natuurlijke veranderingen van de Waddenzee, veranderen ook de vloedvolumina van de verschillende vloedkommen en daarmee de daaraan gerelateerde geulafmetingen, kominhouden en buitendelta's. Jaarlijks is  $5 \text{ à } 5\frac{1}{2} \cdot 10^6 \text{ m}^3$  zand nodig voor de aanpassing van de vloedkommen als gevolg van de jaarlijkse verkleining van de Waddenzee door aanslibbing langs de Waddenkusten. Hiervan wordt naar schatting 35% geleverd door zand dat vrijkomt uit de buitendelta's. [J. van Veen, 1950; L van Bendegom, 1950].

Samenvattend kan gesproken worden van twee systemen die gelijktijdig optreden. Het eerste systeem is de aanslibbing langs de kust (Friesland en Groningen), het tweede systeem is de aanpassing van de geulen aan de verminderde eb- en vloedvolumina door deze aanslibbingen.

Uit de rapportage 'Erosie en sedimentatie in de binnendelta van het Eierlandse Gat 1934-1982', R.W.S okt. 1989, blijkt dat de binnendelta over deze periode resulterend materiaal heeft verloren. De absolute erosie (gecorrigeerd voor zandwinning en zandgolven) bedraagt  $19 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , gecorrigeerd voor zeespiegelstijging ca.  $30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Tot 1964 blijkt het gebied te eroderen. Vanaf 1964 tot 1971 is sedimentatie opgetreden, terwijl er na 1971 wederom sprake is van erosie. Een (mogelijke) verklaring voor dit fluctuerend verloop zou de herverdeling van sediment in de Waddenzee kunnen zijn door de afsluiting van de Zuiderzee (erosie aan de binnenzijde van de waddeneilanden, sedimentatie aan de randen van Friesland en Groningen). De binnendelta van het Eierlandse



figuur 3.1      Overzicht van uitgevoerde verdedigingswerken  
t.p.v. kustvak Eierland

Gat ligt min of meer in zo'n 'erosie gebied'. [G.W. Glim, G. Kool, M.F. Lieshout, M. de Boer, okt. 1989].

### 3.2 Texel

#### 3.2.1 Kustontwikkeling

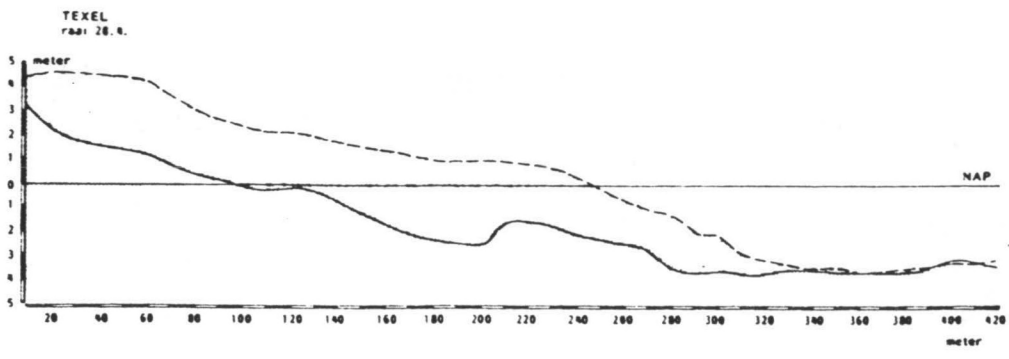
De kustontwikkeling van Texel baart al decennia lang zorgen aangezien er sprake is van voortdurende kustachteruitgang die zich in een relatief hoog tempo voltrekt. Deze ontwikkelingen zijn, met uitzondering van kustvak Eierland, [M. Elorche, mei 1982; H.D. Rakhorst, jan. 1989]:

- De zuidwestkust van Texel is aan een constante achteruitgang onderhevig (5-25 m/jaar).
- Het middengedeelte van Texel is tot enkele jaren terug vrij stabiel, maar vertoont thans ook enige achteruitgang (1-4 m/jaar).

Het kustvak Eierland, waarvan de kustontwikkeling in dit afstudeerrapport wordt beschreven, wordt in het zuiden begrensd door de Sluftermond en in het noorden door het Bolwerk Eierland. Aansluitend aan de zuidzijde van het bolwerk is een duinvoet verdediging aangelegd over een lengte van ca. 500 m. De gemiddelde duinvoetligging t.p.v. de noordwestkant van Texel gaat sinds 1980 gemiddeld 15 m/jaar achteruit, daarvoor 7 m/jaar. Reden voor deze sterke duinvoet achteruitgang en de opgetreden trend verandering worden gegeven aan de hand van onderstaande verstoringen.

#### 3.2.2 Aanleg van Bolwerk Robbengat en Bolwerk Eierland

De eerste verstoring begon met de aanleg van het Bolwerk Robbengat. Ten einde kustafname rondom de gehele noordpunt van Texel een halt toe te roepen werd in 1948 eerst het Bolwerk Robbengat aangelegd. Hierdoor werd het verder opdringen van het Robbengat tegengegaan. In 1956 werd begonnen met de aanleg van het Bolwerk Eierland. Het plan tot aanleg van dit bolwerk bestond in principe uit een duinvoetverdediging met kleine stroomgeleidende hoofden die zouden aansluiten op een bezinking van het onderwatertalud van het Robbengat. In de loop der jaren is de constructie van het bolwerk diverse malen aangepast in de vorm van een uitbreiding van de bezinking in westelijke richting.



figuur 3.2 Dwarsprofiel van raai 28.4 voor (—) en na (---) suppletie

Gevaar voor achterloopsheid van de westelijke beëindiging van het bolwerk maakte verlenging van de duinvoetverdediging in zuidelijke richting noodzakelijk (1974 - 1976).

### 3.2.3 Kunstmatig zeewierveld

Het ten westen van het Bolwerk Eierland gelegen kustgebied tot 500 à 700 m uit de hoofdmeetlijn (d.i. de R.S.P.-lijn, welke t.p.v. Bolwerk Eierland ongeveer 50 m oostelijk van de duinvoetverdediging ligt) verdiept zich regelmatig. In dit gebied ontwikkelen zich ca. 5 m diepe geulen. Om de achteruitgang van dit kustgedeelte te beperken was aanvankelijk een op het Bolwerk Eierland aansluitend strandhoofdenstelsel gepland.

Dit plan werd destijds niet ten uitvoer gebracht. Omdat een kortsluiting werd gevreesd tussen de zich in dit gebied ontwikkelde geulen en het Robbengat werd in 1974 in de toen onder de kust aanwezige geul een kunstmatig zeewierveld aangelegd. De bedoeling was dat dit kunstmatige zeewier zoveel zand zou vangen dat de geul zou worden afgedamd of althans zo ver mogelijk uit de kust zou worden gedrukt.

De betreffende geul is na de aanleg van dit zeewierveld verdwenen. Gezien de snelle morfologische veranderingen in dit gebied en de snelle vermindering van het opdrijvend vermogen van het zeewier is het zeer de vraag in hoeverre het verdwijnen van de geul toe te schrijven was aan de werking van het zeewierveld. [Discussiestuk Erosieprobleem Texel-Eierland, mei 1977].

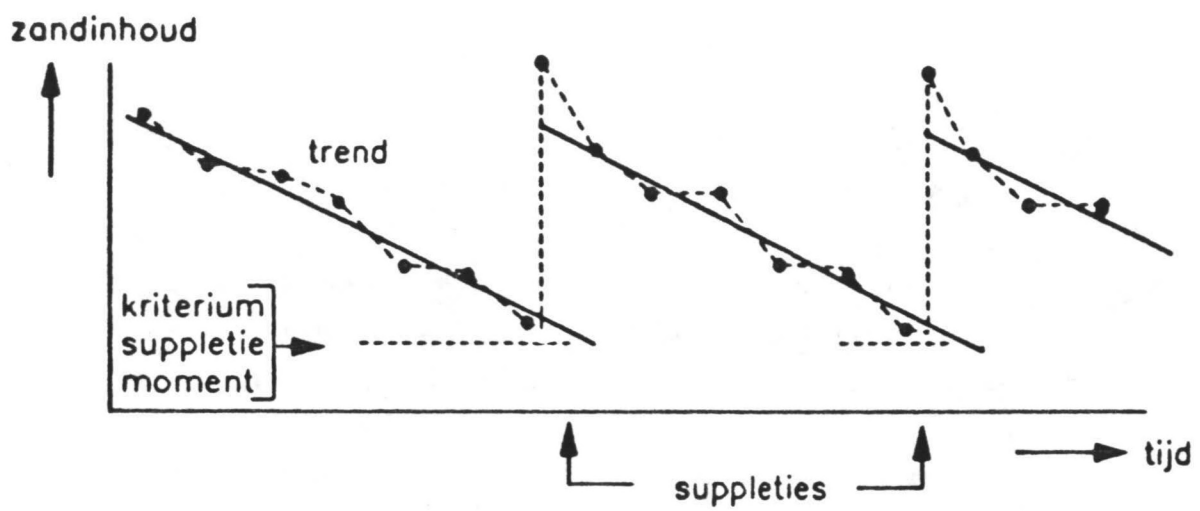
### 3.2.4 Zandsuppletie

Om de verdere kustachteruitgang t.p.v. kustvak Eierland tegen te gaan, werden in de periode 1976-1979 een aantal mogelijkheden voor de verdediging afgewogen. Uiteindelijk werd om de volgende redenen voor een strand- en vooroeversuppletie (zie figuur 3.2) gekozen:

- Een dergelijke suppletie laat de mogelijkheid open om in de toekomst een andere (of dezelfde) methode van verdediging te kiezen.
- Ervaring opdoen met een dergelijke vorm van kustverdediging op deze lokatie.

Opgemerkt moet worden dat de suppletie niet is uitgevoerd omdat de veiligheid





figuur 3.3 Kustgrafiek

van het kustvak in het geding was. De Deltakering op het eiland Texel, bestaande uit een rij hoge duinen, ligt enkele honderden meters oostelijk van de R.S.P.-lijn. Bij doorbraak van de zeereep zouden enkele duinvalleien van grote natuurlijke waarde verloren gaan. Opvallend is dat deze duinvalleien zijn ontstaan door menselijk ingrijpen. Voor het verstevigen van de zeereep is zand weggegraven onmiddellijk achter deze zeereep.

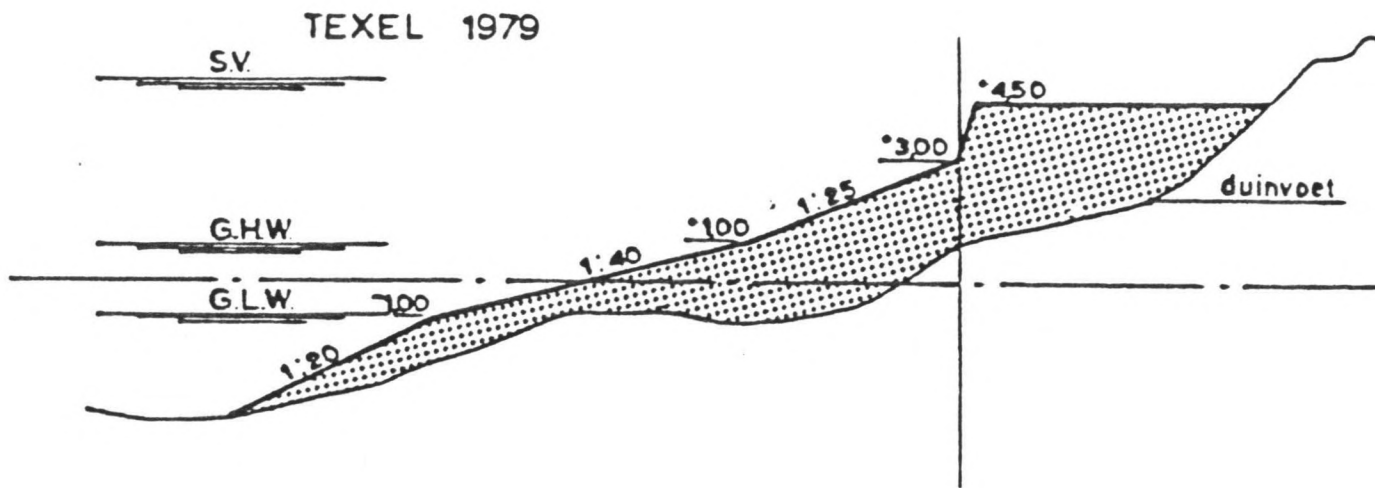
Een zandsuppletie is geen 'definitieve' oplossing; men accepteert dat er een zandverlies blijft optreden, alleen wordt door het suppleren een zand-buffer aangebracht in het kustvak.

Bij het bepalen van de hoeveelheid te suppleren zand is uitgegaan van de hoeveelheid zand die jaarlijks afslaat en het aantal jaren dat de suppletie moet overleven. Zo kwam men in 1979 tot een hoeveelheid van  $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  voor een periode van 5 jaar. In 1985, tijdens de tweede suppletie, bedroeg deze hoeveelheid  $2,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  voor eenzelfde periode. De suppletie van 1979 heeft de geplande 5 jaar volgehouden; van de in 1985 gesuppleerde hoeveelheid was na 4 jaar nauwelijks nog iets terug te vinden. Deze laatste suppletie heeft de geplande 5 jaar niet gehaald. [Evaluatie strandsuppleties, okt. 1987].

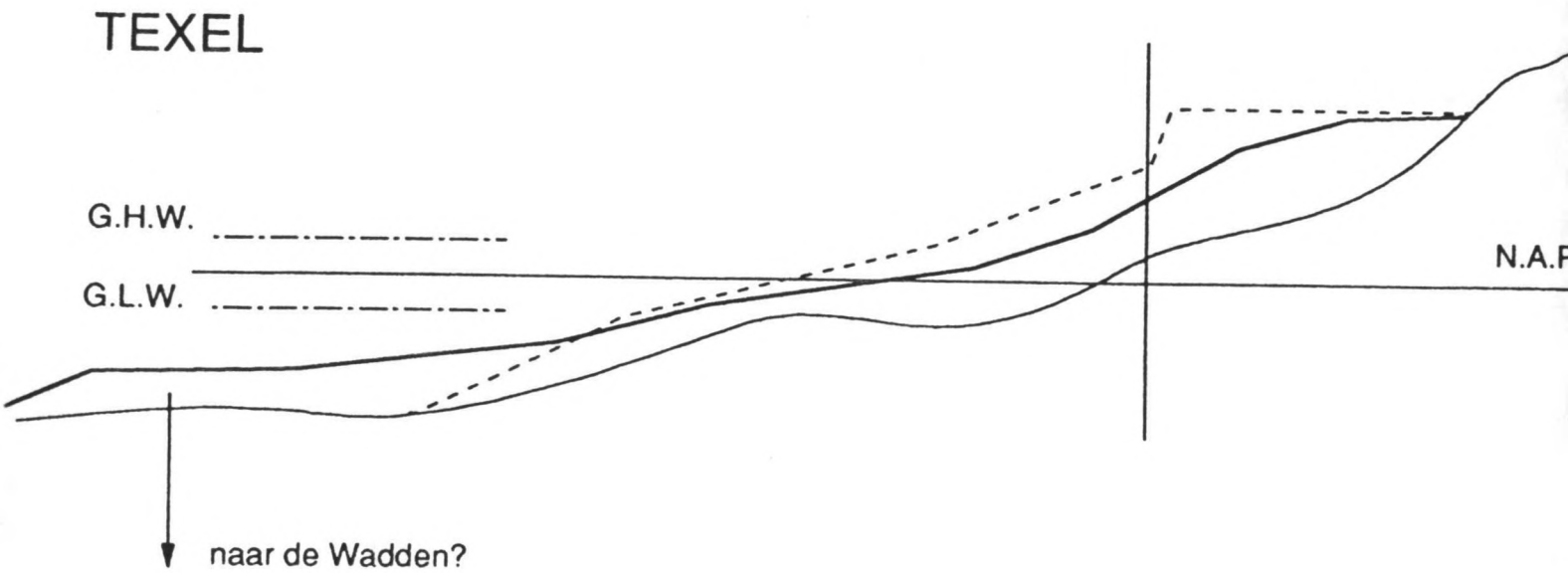
Het ontwerp en uitvoering van een zandsuppletie wordt aan de hand van de figuren 3.3, 3.4 en 3.5 omschreven [Handboek zandsuppleties, 1988]. Het ontwerp van een zandsuppletie wordt in belangrijke mate bepaald door de verwachte kustontwikkelingen na het aanbrengen van de suppletie. Een methode om een schatting te maken van de kustlijnontwikkeling kan de extrapolatie van kustlijnverplaatsingen zijn. Deze verplaatsingen kunnen worden bepaald aan de hand van kustgrafieken (figuur 3.3). D.m.v. extrapolatie kan een schatting worden gemaakt van het tijdstip waarop een suppletie uitgevoerd zal moeten worden als, bijvoorbeeld, de veiligheid in gevaar komt.

Bepalende factoren voor het dwarsprofiel van een suppletie zijn:

- vorm van het oorspronkelijke profiel.
- wijze van uitvoering:
  - strand- en vooroeversuppletie.
  - buitenduintrand suppletie.
- korreldiameter:
  - kleine korreldiameter → flauw profiel.
  - grote korreldiameter → steil profiel.
- doel van de suppletie:
  - recreatie.
  - bescherming achterland tegen overstroming.
  - tegengaan vooroevererosie.
  - herstel van stormschade aan de duinen.



figuur 3.4 Kustprofiel na aanbrengen van suppletie



figuur 3.5 Situatie ≈ 1 jaar na suppletie

De suppletie op Texel is uitgevoerd als een strand- en vooroeversuppletie. Het zand is aangebracht d.m.v. hydraulisch transport. Omdat de suppletie steiler is opgezet (goedkoper en sneller) dan het oorspronkelijke profiel, vallen de veranderingen (duinafslag en verflauwen van het strand) van het dwarsprofiel tijdens en enige tijd na het suppleren het meest op.

In figuur 3.4 is het dwarsprofiel weergegeven zoals dat direct na het aanbrengen van een suppletie ontstaat. Daaronder (figuur 3.5) het dwarsprofiel  $\approx$  1 jaar later. Opvallend is dan het grote dwarstransport van het gesuppleerde zand. Om uitvoeringstechnische redenen wordt het profiel immers steil opgezet en verkeert daardoor nog niet in evenwicht met de natuurlijke omstandigheden. Het moet zich dan nog 'zetten', wat tot gevolg heeft dat het gesuppleerde zand naar de vooroever wordt verplaatst. Als de vooroever in evenwicht is, zal het suppletiezand dit evenwicht verstoren. Er zijn verschillende mogelijkheden om terug te keren naar een evenwichtssituatie. Het zand wordt in langsrichting afgevoerd, maar kan ook naar boven worden getransporteerd. Indien er sprake is van een evenwichtssituatie van strand en vooroever, dan zal er ook geen zand verplaatst worden om dit evenwicht te verstoren. (het systeem kan zichzelf niet uit evenwicht brengen). Het dwarsprofiel verplaatst zich dan in z'n geheel zeewaarts.

Indien het gesuppleerde zand een kleinere korreldiameter heeft dan het oorspronkelijke zand, dan ontstaan flauwere hellingen van strand en vooroever dan voor de suppletie. Het gesuppleerde zand, zowel in 1979 als 1985, was fijner dan het zand t.p.v. kustvak Eierland.

In de loop der jaren werd er nog een suppletie uitgevoerd, voor De Koog, zodat het totaal er als volgt uitziet, zie tabel 3.1.

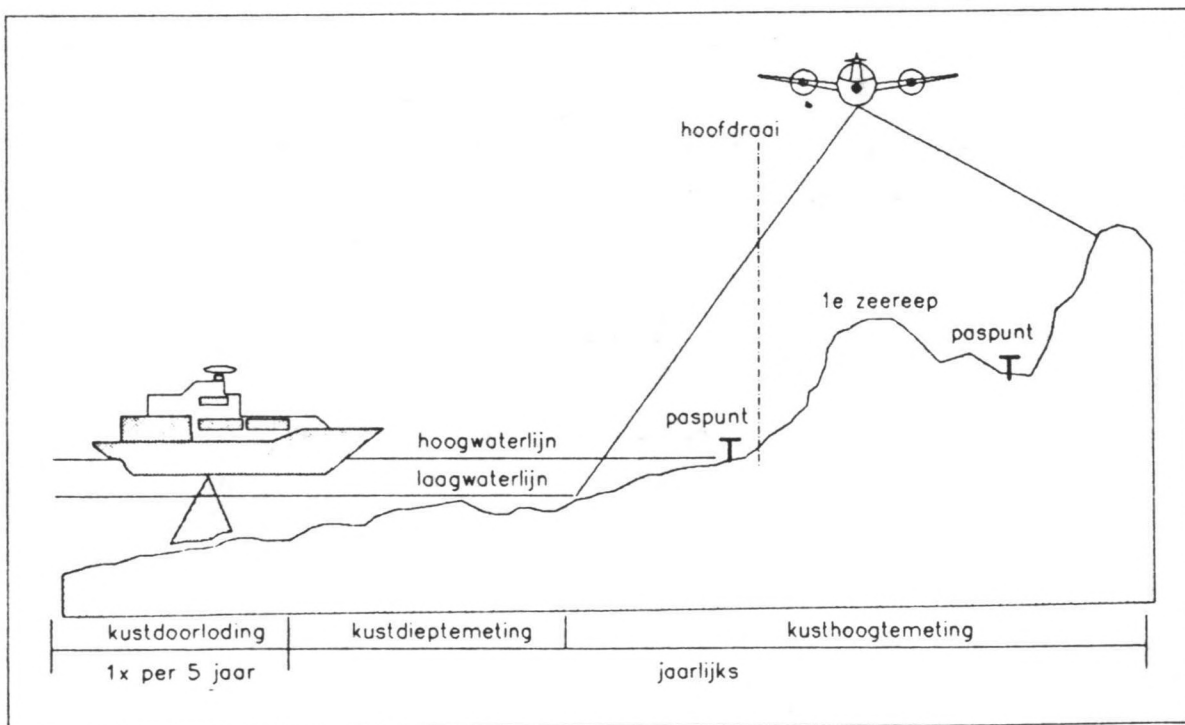
|      |   |                   |         |           |
|------|---|-------------------|---------|-----------|
| 1979 | : | $3,05 \cdot 10^6$ | $m^3$ : | Eierland. |
| 1985 | : | $2,85 \cdot 10^6$ | $m^3$ : | Eierland. |
| 1984 | : | $3,02 \cdot 10^6$ | $m^3$ : | De Koog.  |

tabel 3.1 Overzicht uitgevoerde zandsuppleties

Het benodigde zand is gewonnen in de Waddenzee. In alle drie gevallen werd gekozen voor een winlokatie in het Robbengat tegen de Ballastplaat. Door de winning van het zand op deze plaats trachtte men het doorstroomprofiel te vergroten en zo een verminderde stroomaanval op het Bolwerk Robbengat te verkrijgen. Deze aanpak heeft goed gewerkt. Echter door de winning van deze

grote hoeveelheden zand (bijna  $9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ) werd het zeegat in morfologische zin te ruim. Niet uitgesloten mag worden, dat de onttrokken hoeveelheden te groot zijn geweest en dat als gevolg daarvan er een beïnvloeding plaats vindt van het Texelse kustvak. Voor het herstel van het oorspronkelijke dwarsprofiel zijn (even)grote hoeveelheden zand nodig. Het is aannemelijk te stellen dat het gesuppleerde zand t.p.v. kustvak Eierland in korte tijd naar het Robbengat wordt terug gevoerd. Op deze manier wordt terug gekeerd naar het oorspronkelijke evenwichts dwarsprofiel. Een onderbouwing van deze stelling is te vinden in het rapport 'Voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990-2090, fase 3, deelrapport 3.1: dynamisch model van Het Nederlandse kuststelsel' van M.J.F. Stive en W.D. Eysink (maart 1989), waarin wordt aangegeven dat er een verband bestaat tussen het oppervak van het dwarsprofiel van een zeegat en de inhoud van het kombergingsgebied behorend bij dit zeegat.

In het algemeen kan gesteld worden dat onder normale omstandigheden bij een ongestoorde kust de netto sedimentbeweging dicht bij de kust o.i.v. het getij relatief gering zal zijn t.o.v. de sedimentbeweging veroorzaakt door golven. In de zeegaten wordt de sedimentbeweging hoofdzakelijk bepaald door de getijstroom. Tevens zal het sedimenttransport in een zeegat zich niet beperken tot een smalle strook langs de kust. Het zal duidelijk zijn dat tussen beide mechanismen een overgangsgebied zal zijn. Uit stroommetingen (zie ook hoofdstuk 5) blijkt dat vanaf raai 29.00 een (sterke) vloedstroom dicht onder kust aanwezig is. Er kan gesteld worden dat de optredende erosie naast golfgedreven stroom hier ook wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van deze sterke getijstroom. Stormen zullen gezien de korte afstand tussen vooroever en duinen veel kustafslag veroorzaken, terwijl het dan via dwarstransport op de vooroever gedeponeerde zand (o.a.) door de getijstroom zal worden afgevoerd. Het door de vloedstroom afgevoerde zand moet voor het beschouwde kustvak grotendeels als verloren worden beschouwd.



figuur 4.1 Overzichtsplaatje van meetmethoden ten behoeve van JARKUS



#### 4.1 Inleiding

Teneinde een gedetailleerd beeld te krijgen van de veranderingen die de laatste decennia in het kustvak Eierland zijn opgetreden, zijn een aantal inhouds-, duinvoetverplaatsings- en dieptelijnverplaatsingsberekeningen gemaakt. Met de resultaten hiervan is het mogelijk een beeld te vormen van de bodemveranderingen in de tijd. Zo mogelijk kunnen hieraan uitspraken worden gekoppeld m.b.t. de processen die voor de veranderingen verantwoordelijk zijn. Verder kunnen de resultaten worden gebruikt voor het ijken en/of toetsen van modelberekeningen.

#### 4.2 Werkwijze

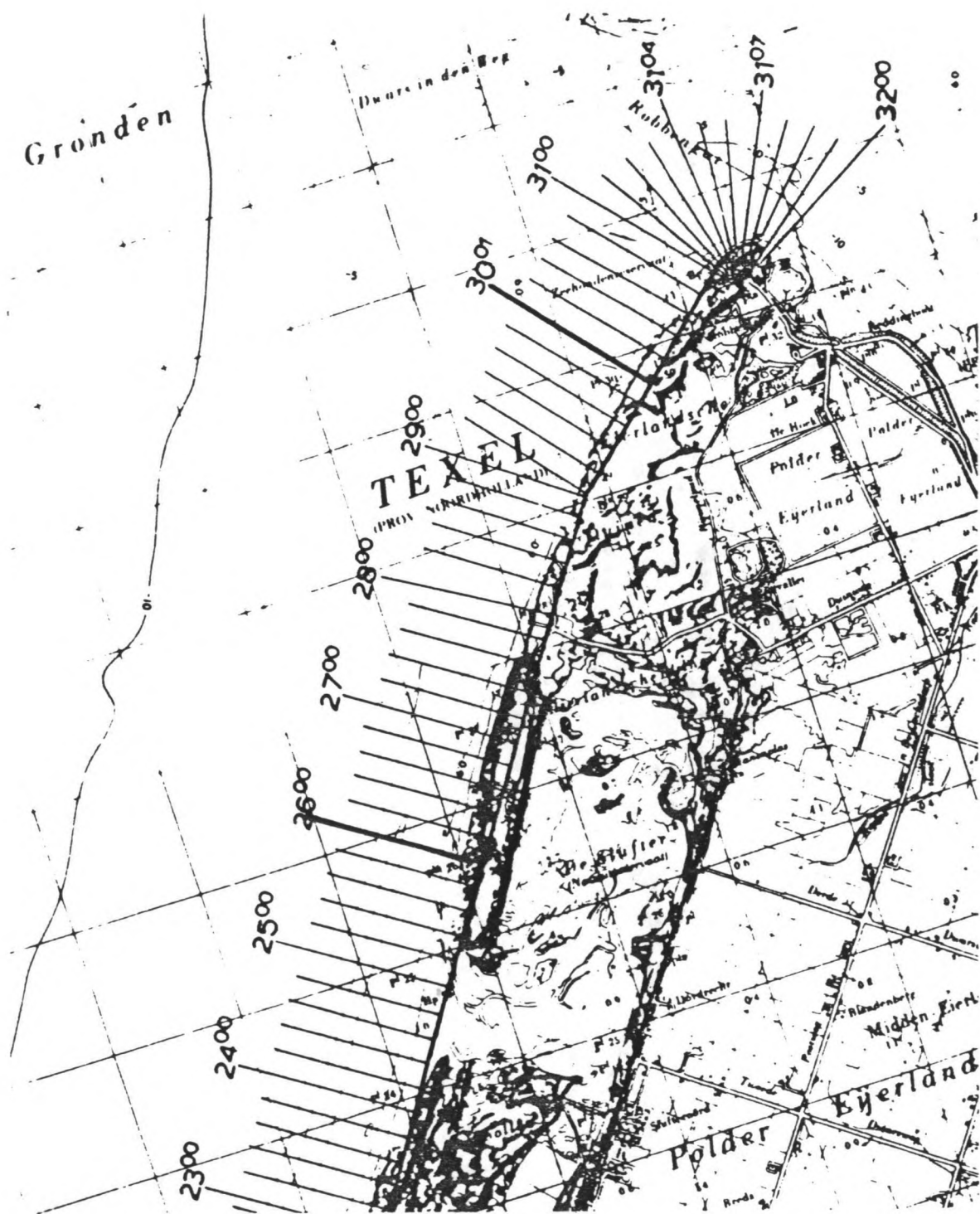
##### 4.2.1 Meetdata

Om de (jaarlijkse) veranderingen te bepalen is gebruik gemaakt van de gegevens uit het zogenaamde JARKUS-bestand (JAaRlijkse KUSmeting). Langs de gehele Nederlandse kust is volgens een vast patroon een raaienstelsel gedefinieerd van ca. 3000 raaien. De raaien hebben een onderlinge afstand van ca. 200 m en staan zoveel mogelijk loodrecht op de kust. Binnen de Jaarlijkse Kustmeting zijn twee soorten metingen te onderscheiden, t.w.:

- kusthoogte metingen, deze worden uitgevoerd op het droge gedeelte van de kust.
- kustdiepte metingen, deze worden uitgevoerd op het onderwater gedeelte van de kust.

De kustmetingen worden jaarlijks verricht van ongeveer 800 m zeewaarts vanaf de RijksStrandPalenlijn (R.S.P.-lijn) tot ca. 200 m landwaarts over de zee-reep.

In het bestand zijn de diepte/hogtemetingen per raai opgeslagen vanaf 1963. De afstand tussen de meetwaarden in een raai bedragen i.h.a. 10 m voor de hoogtemetingen en 20 m voor de dieptemetingen.



figuur 4.2 Raai-overzicht t.p.v. kustvak Eierland

#### 4.2.2 Periodes en begrenzingen

##### Periodes

Voor de kuberingen van kustvak Eierland zijn twee tijdvakken gekozen; één voor de suppletie van 1979 en één na de suppletie van 1979. Het eerste tijdvak beslaat de periode 1970 t/m 1979, het tweede de periode 1980 t/m 1984.

Het eerste tijdvak dient representatief te zijn voor de "natuurlijke ontwikkeling" van het kustvak. Er is niet gekozen voor 1963 als beginjaar omdat over de periode 1963-1969 onvoldoende gegevens aanwezig zijn van het meest landwaartse deel van de raaien.

Het tweede tijdvak beslaat de periode tussen de eerste en tweede suppletie en wordt dus gekenmerkt door menselijk ingrijpen in de "natuurlijke ontwikkeling". Hoewel deze periode feitelijk te kort is voor een regressie analyse is gezien de verwachte éénduidigheid van de veranderingen toch een poging gedaan. De tweede periode is zo kort doordat in 1985 wederom een suppletie is uitgevoerd.

Er is niet naar een derde periode gekeken (1985-1990).

##### Begrenzingen

Het kustvak Eierland is gelegen tussen de rijksstrandpaalraaien 26.00 en 31.00. Raai 26.00 ligt net ten noorden van de Slufter en raai 31.00 ligt bij het begin van het Bolwerk Eierland. Voor een overzicht van het raaien stelsel, zie figuur 4.2. Het kustvak is in vijf stroken verdeeld elk met een breedte van 1 km. Er is voor deze verdeling gekozen om de variaties in de duinvoetligging, inhouden enz., langs het kustvak zichtbaar te maken. De veranderingen die binnen deze strook plaatsvinden worden op deze manier niet meegenomen. En berekening uitgevoerd met stroken tussen elke raai heeft aangetoond dat de vakkeuze van 1 km als representatief kan worden gezien. Voor een weergave van deze 'gevoeligheidsanalyse' wordt verwezen naar de bijlagen 1, 2 en 3. Op bijlage 1 zijn twee (willekeurige) raaiavakken weergegeven met een breedte van 1 km. Vertikaal is uitgezet de zandinhoud van het raaiavak, horizontaal de jaren. Op de bijlagen 2 en 3 is tussen elke raai de zandinhoud tegen de tijd uitgezet. De inhoudsveranderingen in de tijd is voor elk raaiavak (vrijwel) gelijk; de vakkeuze van 1 km is verantwoord.

Van zuid naar noord liggen deze stroken tussen raai 26.00 en 27.00, 27.00 en 28.00, 28.00 en 29.00, 29.00 en 30.01, 30.01 en 31.00.

Bij het beschouwen van de dwarsprofielen (zie de bijlagen 4 t/m 9) zijn duidelijk verschillende zones te onderscheiden in de langsrichting van de kust. In het zuiden tussen raai 26.00 en raai 28.00 wordt het dwarsprofiel gekenmerkt door de aanwezigheid van 2 of 3 brandingsruggen. Deze brandingsruggen zijn in de bijlagen niet te herkennen, daarvoor zijn er te weinig dwarsprofielen afgedrukt. De brandingsruggen verplaatsen zich in zeewaartse richting en nemen daarbij in hoogte af. De buitenste rug verdwijnt volledig en er ontstaat nabij de laagwaterlijn weer een nieuwe.

In het noordelijk deel geven de dwarsprofielen een meer fluctuerend beeld te zien. Er vinden relatief grote veranderingen plaats in een kort tijdsbestek. Eb- en vloedgeulen ontstaan, verplaatsen zich en verdwijnen weer. Het beeld wordt hier beheerst door de processen die zich afspelen rond het zeevat en zijn buitendelta.

In dwarsrichting kan er eveneens een onderverdeling worden gemaakt. Het landwaartse deel van het profiel is over het algemeen monotoon dalend tot aan de laagwaterlijn (ca. NAP-1 m). Zeewaarts van deze lijn wordt het beeld veel grilliger en wordt het dwarsprofiel in het zuiden gekenmerkt door brandingsruggen en -troggen en naar het noorden in toenemende mate door de eb- en vloedscharen. Uit de bestudering van de profielen blijkt de strook R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m stelselmatig achteruit te gaan, terwijl van de strook R.S.P.+400 m/ R.S.P.+1000 m door de grote fluctuaties geen éénduidig beeld kan worden verkregen.

Dit heeft geleid tot de keuze van twee vakken :

- Een vak van de R.S.P.-lijn tot R.S.P.+400 m  
De landwaartse grens van dit vak wordt bepaald door de aanwezigheid van gegevens in het JARKUS bestand. Voor raai 26.00 t/m raai 29.00 is dit tot 50 m zeewaarts van de R.S.P.-lijn, van 29.00 tot 30.01 200 m zeewaarts en van 30.01 t/m 31.00 tot 250 m zeewaarts. Meer recent zijn in alle raaien gegevens beschikbaar tot R.S.P.+50 m. De beperkingen in de begrenzings gelden alleen voor de kuberingsperiode 1970/1979. Vanaf 1977 is begonnen m.b.v. luchtfotografie hoogte metingen te bepalen. Tot die tijd werden de metingen uitgevoerd met de hand (baak, waterpas) en waren de metingen niet volledig.

- Een vak van R.S.P.+400 m tot R.S.P.+1000 m  
Dit komt globaal overeen met van de laagwaterlijn tot NAP-5m. Door de keuze van één groot vak voor het zeevaartse deel wordt er voor gezorgd dat de verplaatsingen van de brandingsruggen en de stroomgeulen de inhoudsberekeningen niet te veel beïnvloeden. De verplaatsingen spelen zich binnen dit vak af zodat er geen schijnbare netto inhoudsveranderingen worden berekend.

Een bijkomende reden voor deze vakindeling is dat de suppletie van 1979 tot ca. 400 m zeewaarts van de R.S.P.-lijn is uitgevoerd. De uitgevoerde suppleties zijn omschreven in 3.2.4.

N.B.: Er is veel geschoven met de zeereep. Het is moeilijk te achterhalen wat er precies is gebeurd en hoe dit de resultaten heeft beïnvloed. Het is te eenvoudig om ontbrekende duingegevens in het verleden te vervangen door latere gegevens met als uitgangspunt dat er in het duin niets is veranderd. Bestudering van de tekening 'Verdedigingswerken' (RWS dir. Noord Holland, dienstkring Texel, tekeningnummer 882026), laat zien dat de meeste verschuivingen zeewaarts van de R.S.P.-lijn zijn uitgevoerd. Slechts op enkele punten is door dit schuiven zand 'verloren' gegaan. De hoeveelheden die gemoeid zijn geweest met dit schuiven zijn aan de hand van deze tekening niet te achterhalen.

#### 4.2.3 Berekeningen

De berekeningen zijn gemaakt met het bij DGW ontwikkelde programma WK1. Naast de inhoudsberekeningen biedt dit programma mogelijkheden voor het berekenen van kusthellingen en verplaatsingen van dieptelijnen in de tijd. Tevens bestaat de mogelijkheid een eenvoudige trendberekening op de resultaten toe te passen en plotuitvoer te genereren. Deze laatste opties zijn benut om een zo volledig mogelijk ruimtelijk beeld van de veranderingen te verkrijgen.

De berekeningen zijn uitgevoerd op de SPERRY U-1100 mainframe computer van de ICIM te Rijswijk. Hierop bevinden zich de JARKUS-bestanden en de programma's en procedures. Alvorens tot de berekeningen over te kunnen gaan, dienen de gegevens te worden "opgehaald" uit het JARKUS-bestand.

Voor dit doel is bij DGW de procedure WK0 ontwikkeld [Jarkus handleiding].



Met deze procedure kunnen profielgegevens en de benodigde raai-administratie gegevens worden opgehaald via de "open uitgang" van het JARKUS-bestand. Het resultaat van deze procedure bestaat uit een zogenaamde direct access file met de gevraagde profielgegevens en een recordadministratiefile met verwijzingen naar de gegevens in de direct access file.

De volgende stap is het maken van een invoerfile voor WK1, het kuberingsprogramma. In bijlage 10 wordt een overzicht gegeven van de parameters die de invoerfile moet bevatten, in bijlage 11 wordt een voorbeeld van zo'n invoerfile gegeven. Voor de uit te voeren berekeningen zijn de volgende uitgangspunten gekozen:

- De inhoudsberekeningen worden gemaakt met 1979 en 1980 als referentie jaren en NAP-10 m als referentieniveau.
- De hellingen worden berekend voor 2 stroken: het strand van NAP+2 m tot NAP-1 m en de vooroever van NAP-1 m tot NAP-3 m.
- De verplaatsingen van de dieptelijnen worden bepaald voor de dieptelijnen NAP+1 m, NAP, NAP-1 m en NAP-3 m en de duinvoet.

Vervolgens kunnen de berekeningen worden uitgevoerd. Het resultaat van de berekeningen is een aantal uitvoerfiles nl. :

- een file voor het tekenprogramma TEK-GEBl.
- een file voor het tekenprogramma TEK-SET.
- een file met numerieke uitvoer.
- een meldingenfile.

De file met de numerieke uitvoer bevat achtereenvolgens per vak de trend van de kubering, de helling(en), de dieptelij(n) en duinvoetligging.

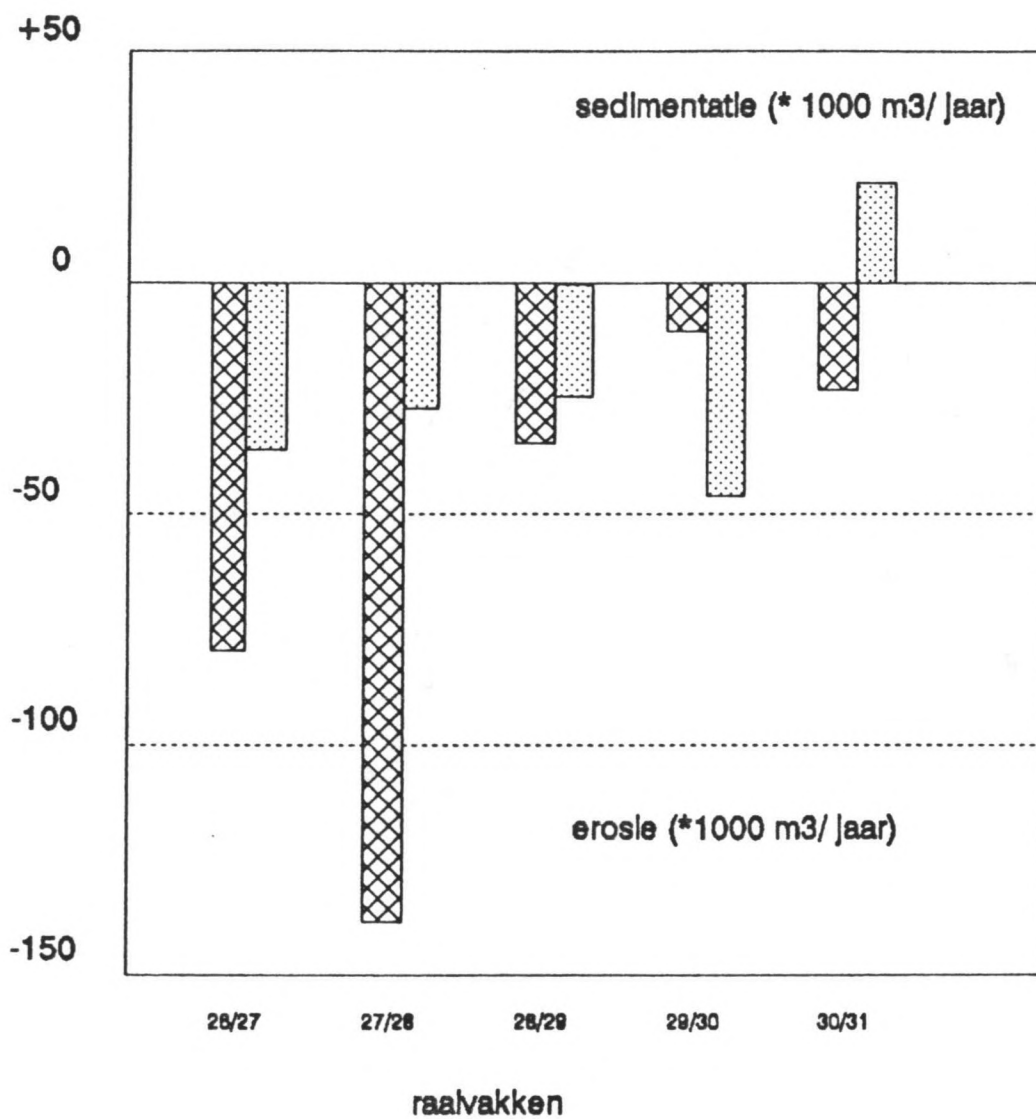
Daarna volgen per vak en per strook de inhouden boven het referentieniveau t.o.v. het gekozen referentiejaar. Vervolgens worden de ligging van de duinvoet en de dieptelij(n) en tenslotte de kusthelling(en) weergegeven.

Een uitgebreide beschrijving van het programma, van de run-instructies en van de vervolg programmatuur (tekenen) wordt gegeven in Programma beschrijving WK1.



# Texel

kustvak Eierland, R.S.P. 28.00 - 31.00  
erosie / sedimentatie periode 1970 - 1979



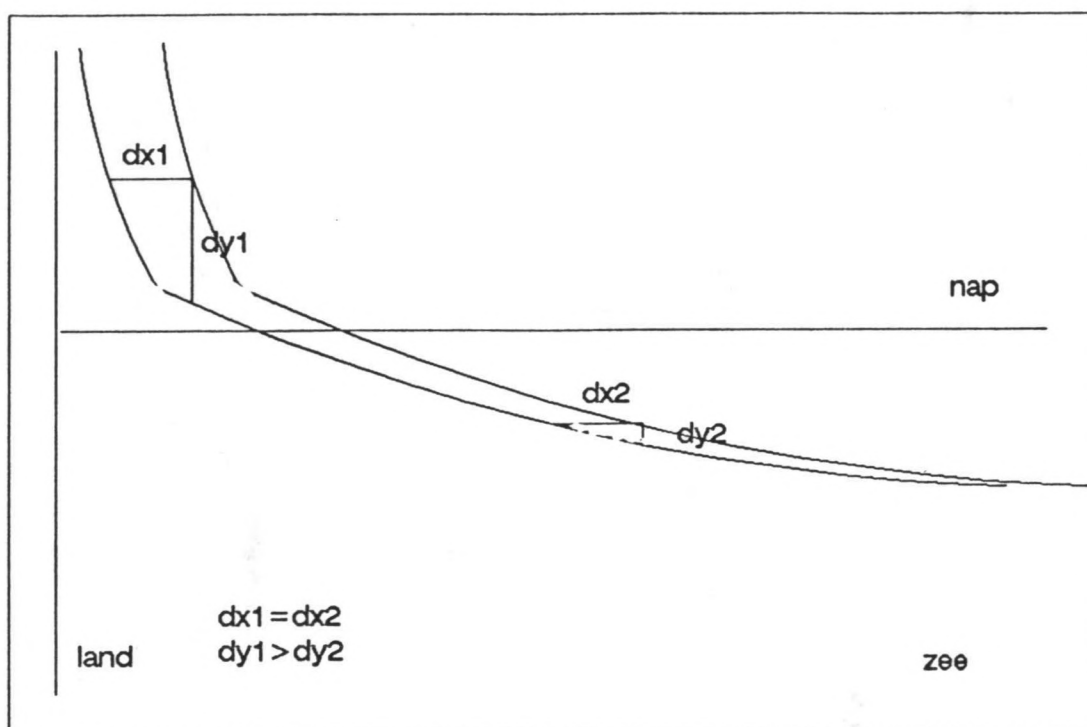
R.S.P.+50 m (variabel)/ R.S.P.+400 m



R.S.P.+400 m/ R.S.P.+1000 m



De totale gemiddelde erosie per jaar bedraagt ca  $420 \cdot 10^3$  m<sup>3</sup>. Van de erosie komt 70% voor rekening van de strook R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m. De erosie van de strook R.S.P.+400 m/ R.S.P.+1000 m is vrij gering. Uitgaande van een min of meer parabolische vorm van het (geschematiseerde) dwarsprofiel komt dit neer op een landwaartse verplaatsing van het gehele dwarsprofiel. (zie figuur 4.3).



figuur 4.3 Geschematiseerd dwarsprofiel.

De gemiddelde strandhelling is berekend tussen de meest landwaarts gelegen lijnen NAP+2 m en NAP-1 m. De helling van de vooroever is berekend tussen de meest landwaarts gelegen lijnen NAP-1 m en NAP-3 m.

| raaivak       | strandhelling | helling vooroever |
|---------------|---------------|-------------------|
| 26.00 - 27.00 | 1:84          | 1:84              |
| 27.00 - 28.00 | 1:45          | 1:86              |
| 28.00 - 29.00 | 1:44          | 1:129             |
| 29.00 - 30.01 | 1:54          | 1:133             |
| 30.01 - 31.00 | 1:41          | 1:89              |

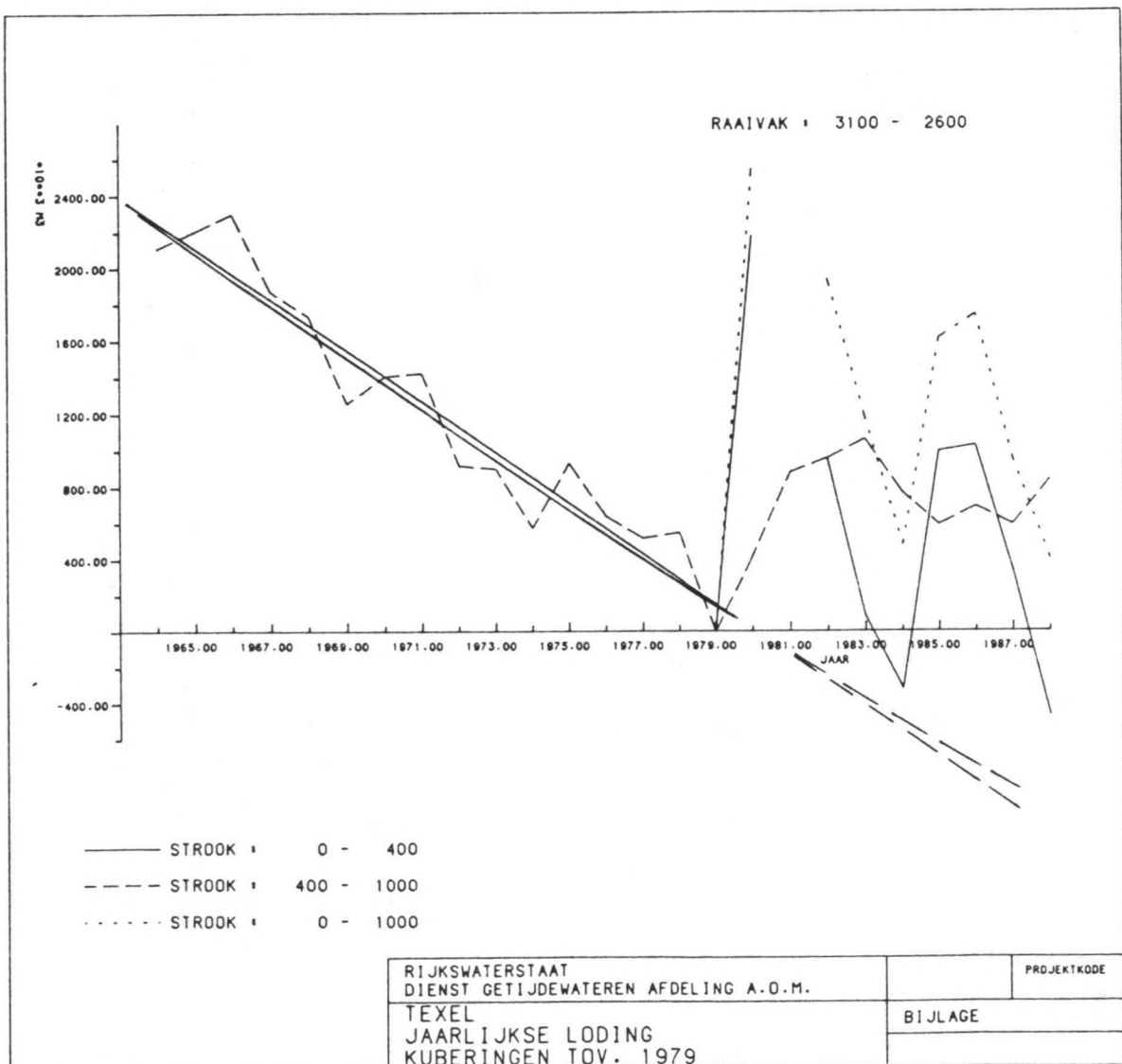
De verplaatsingen van de dieptelijnen, berekend als de gemiddelde jaarlijkse verplaatsing in meters op basis van lineaire regressie laten het volgende zien:

| raaivak       | duinvoet | NAP+1 m | NAP  | NAP-1 m | NAP-3 m |
|---------------|----------|---------|------|---------|---------|
| 26.00 - 27.00 | -5       | -8      | -7   | -9      | -14     |
| 27.00 - 28.00 | -6       | -5      | -5   | -6      | -10     |
| 28.00 - 29.00 | -6       | -3      | -3   | -4      | -5      |
| 29.00 - 30.01 | -5       | -5      | -3   | -5      | -9      |
| 30.01 - 31.00 | -13      | -9      | -9   | -10     | -5      |
| gem.          | -7       | -8      | -5,5 | -7      | -8      |

De dieptelijnen verplaatsen zich in de richting van de kust met een snelheid in de orde van 7 m/jaar. Gezien de gelijkmatige verplaatsing van de dieptelijnen en duinvoetligging kan geconcludeerd worden dat het beeld geschetst in figuur 4.3 redelijk wordt bevestigd.

De resultaten kort samengevat:

Het gehele kustvak is aan sterke erosie onderhevig. De gehele kustzone (vooroever, natte strand, droge strand, duinfront) gaat achteruit met een snelheid van ongeveer 7 m/jaar. In de beschouwde periode komt dit neer op ruim 60 m. Gezien de inhoudsveranderingen is het volume van de erosie verreweg het grootst in de strook R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m van het profiel. In langsrichting gezien is de erosie het grootst in het zuiden. Aangezien de achteruitgang van de dieptelijnen overal nagenoeg hetzelfde is moet daar meer zand per strekkende meter verloren gegaan zijn, d.w.z. de duinen zijn (waren) er



figuur 4.4 Kustgrafiek voor raai-vak 26.00/31.00 op Texel

hoger. Er zijn geen aanwijzingen dat er een verband bestaat tussen het voorkomen van jaren met veel stormen (b.v. 1976) en een versnelde achteruitgang van de kust. De veranderingen verlopen vrij systematisch. Verder zijn er geen aanwijzingen te vinden dat het materiaal dat van de duinen en het strand erodeert ten goede komt aan de vooroever. De resultaten sluiten dit echter ook niet geheel uit.

Om te bepalen of er na (vele) jaren een evenwichtssituatie (=geen zandverlies) zal ontstaan, is een inhoudsbepaling voor het gehele kustvak (=raai 26.00 t/m 31.00) uitgevoerd (zie figuur 4.4 voor de grafische weergave). Voor de twee perioden (1963 t/m 1979, 1980 t/m 1988) zijn verschillende stroken aangenomen, dit is gedaan om de veranderingen in de stroken van het kustvak zichtbaar te maken.

Voor de periode 1963 t/m 1979 is er naar de strook R.S.P.+400 m/ R.S.P.+1000 m gekeken; wanneer er sprake zou zijn van een uiteindelijke evenwichtssituatie, dan zou de inhoud van deze strook in de loop der jaren niet meer veranderen. Het opschuiven van het profiel zou dan tot stilstand zijn gekomen. In de figuur is een trendlijn aan te geven door over de periode 1963/1979 een 'best fit' rechte te tekenen. Op de zelfde manier is getracht een kromme aan te geven. Gezien de grote kromtestraal kan gesteld worden dat het erosie proces continu in de tijd is en dat er na vele jaren nog geen evenwichtssituatie bereikt zal zijn.

Voor de periode 1980/ 1988 zijn drie stroken gedefiniëerd:

- R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m: breedte waarover suppletie is uitgevoerd.
- R.S.P.+400 m/ R.S.P.+1000 m: inhoudsverandering door dwarstransport van suppletiezand.
- R.S.P.-lijn/ R.S.P.+1000 m: verloop totale inhoud van kustvak Eierland.

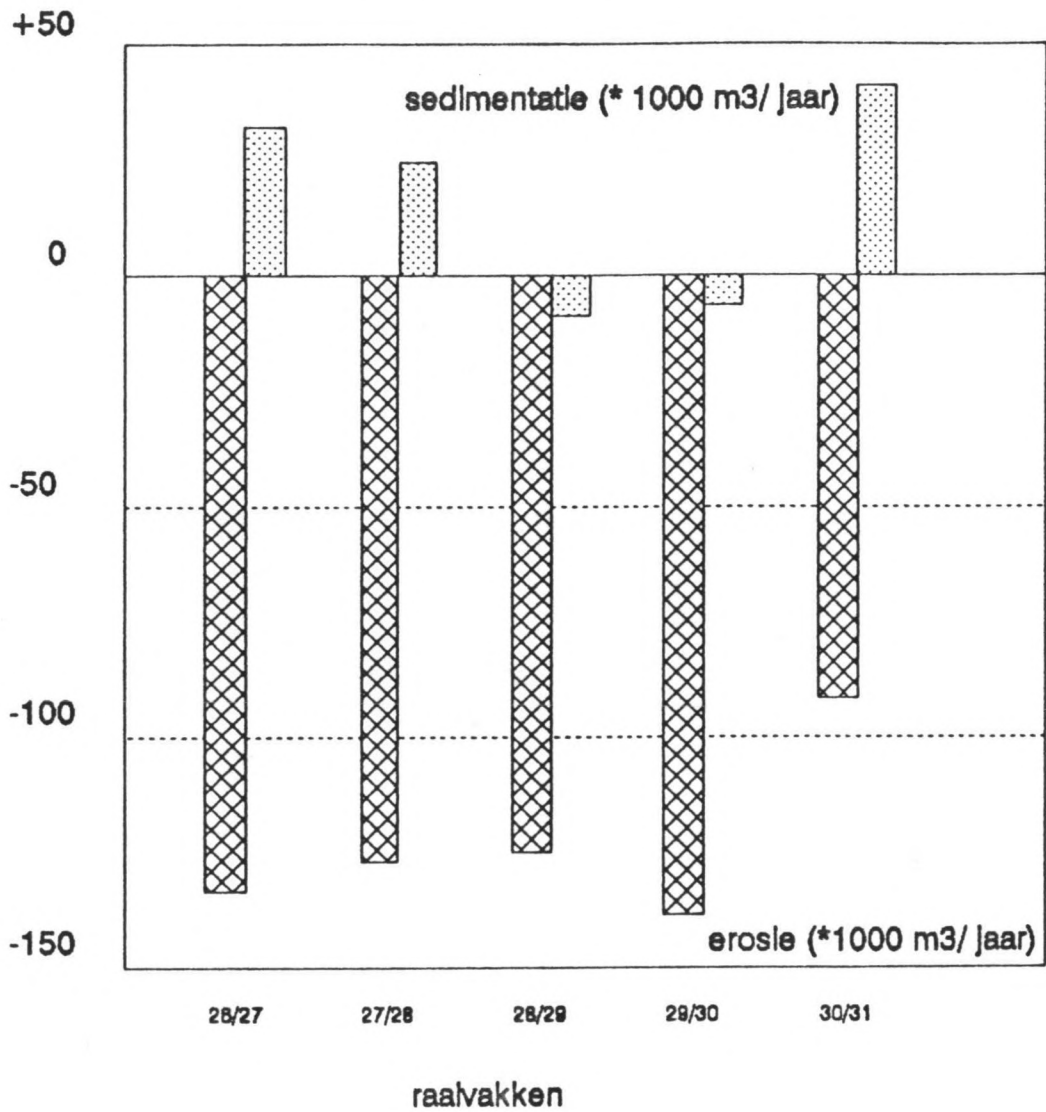
Opvallend zijn de zeer grote zandverliezen na de suppleties (1979 en 1985). Uitspraken over de uiteindelijke situatie na deze zandsuppleties kunnen op grond van het korte tijdsbestek en de grote inhoudsfluctuaties niet worden gedaan.




# Texel

kustvak Eierland, R.S.P. 26.00 - 31.00

erosie / sedimentatie periode 1980 - 1984



 R.S.P.-11jn/ R.S.P. + 400 m

 R.S.P. + 400 m/ R.S.P. + 1000 m

#### 4.3.2 Periode 1980/1984

De berekeningen zijn op dezelfde wijze uitgevoerd als bij de periode 1970/1979.

De resultaten van de inhoudsberekeningen:

- Voor de strook van de R.S.P.-lijn t/m R.S.P.+400 m:

|                         |   |
|-------------------------|---|
| raaivak 26.00 - 27.00 : | -136*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /jaar,  |
| raaivak 27.00 - 28.00 : | -134*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /jaar,  |
| raaivak 28.00 - 29.00 : | -131*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /jaar,  |
| raaivak 29.00 - 30.01 : | -138*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /jaar,  |
| raaivak 30.01 - 31.00 : | -91,8*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /jaar, |
|                         | ————— +                                     |
| van 26.00 t/m 31.00     | -630*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /jaar.  |

- Voor de strook van R.S.P.+400 m tot R.S.P.+1000 m:

|                         |  |
|-------------------------|--|
| raaivak 26.00 - 27.00 : | 31,2*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /jaar, |
| raaivak 27.00 - 28.00 : | 22,4*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /jaar, |
| raaivak 28.00 - 29.00 : | -6*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /jaar,   |
| raaivak 29.00 - 30.01 : | -3,4*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /jaar, |
| raaivak 30.01 - 31.00 : | 43,7*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /jaar, |
|                         | ————— +                                    |
| van 26.00 t/m 31.00     | : +90*10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /jaar |

Zie figuur op de linker pagina voor een grafische weergave van de resultaten.

De totale erosie van het kustvak bedraagt in deze periode 540\*10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/jaar.

De erosie komt volledig voor rekening van de strook R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400m.

De suppletie is zo ver zeewaarts uitgevoerd dat er ook materiaal in het vak R.S.P.+400 m/ R.S.P.+1000 m is terechtgekomen [Handboek zandsuppleties, 1988; evaluatie strandsuppleties, 1987]. Na de suppletie is de inhoud van dit vak met ca. 450\*10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> toegenomen. Ook de 2 jaar daarna neemt de inhoud nog iets

toe. Dat is het gevolg van afzetting van materiaal uit het vak R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m.

Het effect van de suppletie is omschreven in 3.2.4. De korte periode en het bovenstaande maken dat er geen harde uitspraken kunnen worden gedaan over de ontwikkeling van dit vak op termijn. Zie tabel 4.1 voor de erosie en sedimentatie hoeveelheden na de suppletie.

| jaar           | 0/ +400 m                                  | +400 m/ +1000 m                           |
|----------------|--|---|
| 1981           | -731000 m <sup>3</sup>                     | +463000 m <sup>3</sup>                    |
| 1982           | -561000 m <sup>3</sup>                     | + 86000 m <sup>3</sup>                    |
| 1983           | -864000 m <sup>3</sup>                     | + 96000 m <sup>3</sup>                    |
| 1984           | -402000 m <sup>3</sup>                     | -153000 m <sup>3</sup>                    |
| <u>totaal:</u> | <u>-2558000 m<sup>3</sup></u> <sup>+</sup> | <u>+353000 m<sup>3</sup></u> <sup>+</sup> |

tabel 4.1 Inhoudsveranderingen

De berekening van de hellingen geeft voor de periode 1980-1984 het volgende beeld te zien :

| raaivak       | strandhelling | helling vooroever |
|---------------|---------------|-------------------|
| 26.00 - 27.00 | 1:69          | 1:156             |
| 27.00 - 28.00 | 1:57          | 1:99              |
| 28.00 - 29.00 | 1:43          | 1:122             |
| 29.00 - 30.01 | 1:54          | 1:175             |
| 30.01 - 31.00 | 1:56          | 1:471             |

In deze periode is de helling van het strand ongeveer hetzelfde als in de voorgaande periode. De helling van de vooroever lijkt iets flauwer.

De verplaatsingen van de dieptelijnen laten het volgende beeld zien:

| raaivak       | duinvoet | NAP+1 m | NAP | NAP-1 m | NAP-3 m |
|---------------|----------|---------|-----|---------|---------|
| 26.00 - 27.00 | -9       | -9      | -6  | -9      | -8      |
| 27.00 - 28.00 | -14      | -18     | -17 | -22     | -17     |
| 28.00 - 29.00 | -12      | -22     | -20 | -25     | -17     |
| 29.00 - 30.01 | -17      | -21     | -22 | -26     | -35     |
| 30.01 - 31.00 | -22      | -16     | -10 | -20     | -42     |
| gem.          | -15      | -17     | -15 | -20     | -24     |

De verplaatsing van de dieptelijnen en de duinvoetligging is hier in de orde van 18 m/jaar. Over de hele periode komt dit neer op 70 m achteruitgang van de kustzone.

In de bijlagen 12 en 13 zijn de resultaten van de dieptelijnerverplaatsingen weergegeven.

De resultaten kort samengevat: Na de suppletie is er sprake van een sterke achteruitgang van de kustzone t.o.v. de 'oude'-kustontwikkeling. In de oude situatie was dat  $\approx 7$  m/jaar, tegenover nu  $\approx 18$  m/jaar. Bedacht moet worden dat er zich direct na de suppletie altijd relatief veel afslag en achteruitgang voordoet. Hoe alarmerend dit proces ook mag lijken, in de praktijk blijkt meestal dat de verliezen in zo'n periode verwaarloosbaar zijn. Verwacht mag worden dat de achteruitgang nu, in de loop der jaren kleiner zal worden. Een bewijs voor deze verwachting kan niet worden geleverd omdat 6 jaar na de eerste suppletie, in 1985, opnieuw gesuppleerd is. Op dit ogenblik (mei 1990) wordt voor de derde maal een suppletie overwogen.

In de strook R.S.P.+400 m/ R.S.P.+1000 m is er na de suppletie sprake van enige sedimentatie.

De achteruitgang en de zandverliezen zijn in de langsrichting van de kust vrij constant.

#### 4.4 Analyse en conclusie

In de periode 1970 t/m 1979 was er een achteruitgang van de kust van 7 m/jaar. Het zandverlies bedroeg in die periode voor de kustzone ca.  $300 \cdot 10^3$  m<sup>3</sup>/jaar. Het grootste deel hiervan kwam voor rekening van het kustvak van 26.00 t/m 28.00. Het zandverlies zeewaarts van de laagwaterlijn (ca. NAP-1 m) was veel geringer en bedroeg ca.  $125 \cdot 10^3$  m<sup>3</sup>/jaar.

De gemiddelde helling van het natte strand lag tussen de 1:40 en de 1:50. Dit kan worden gezien als de "natuurlijke helling" voor het gebied.

Na de suppletie 1979 was de achteruitgang van de kust toegenomen tot ca. 18 m/jaar en bedroeg het zandverlies in de strook R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m:  $630 \cdot 10^3$  m<sup>3</sup>/jaar.

Dit verschil behoeft enige toelichting. Ten onrechte zou de conclusie getrokken kunnen worden dat er een aanzienlijke erosie is opgetreden. Echter door de suppletie is een onnatuurlijk steile helling van strand en vooroever gecreëerd. In de loop der tijd (1 à 2 jaar) zal het dwarsprofiel zich aanpas-

sen aan het heersende wind-en golfklimaat. Vele  $m^3$  zand worden gedurende het aanpassingsproces zeewaarts verplaatst en zijn dus niet verloren gegaan voor het kustvak. De grens tussen de strook R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m en R.S.P.+400 m/ R.S.P.+1000 m ligt ongeveer tot waar de suppletie is uitgevoerd. Op grond van het bovengeschreven aanpassingsproces kan de erosie (veroorzaakt door langstransport verschil) in de strook R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m niet worden getraceerd.

Het zandverlies is langs het hele kustvak vrijwel constant. De erosie van de strook R.S.P.+400 m/ R.S.P.+1000 m van voor de suppletie is niet meer aanwezig en gaat aanvankelijk zelfs over in sedimentatie. De helling van de vooroever lijkt iets flauwer te zijn dan voor de suppletie.

De metingen die slechts één keer per jaar worden uitgevoerd hebben het karakter van een steekproef. Er kunnen op grond van deze meetfrequentie geen uitspraken worden gedaan over mogelijke seizoensafhankelijke veranderingen bijvoorbeeld een grotere achteruitgang door winterstormen. Om hier inzicht in te krijgen is het noodzakelijk om enige jaren met een hoge frequentie (b.v. elke 2 weken) metingen te verrichten.

Het is eveneens niet mogelijk op basis van de gegevens uitspraken te doen over de transportmechanismen die verantwoordelijk zijn voor de erosie. Het is wel duidelijk dat de achteruitgang al heel lang plaats vindt en zeer regelmatig is.

De sterk toegenomen erosie na de suppletie van 1979 kan meerdere oorzaken hebben:

- het te steil gesuppleerde profiel.
- de korreldiameter van het suppletiezand was kleiner (0,18 mm) dan van het oorspronkelijke profiel (0,2 mm). (zie 3.2.4).
- de (te) grote zandwinning in het Robbengat. (zie 3.2.4).

De iets flauwere vooroeverhelling is een mogelijke aanwijzing voor het fijnere suppletiezand.

Het is niet waarschijnlijk dat het golfklimaat van de periode 1970 t/m 1979 sterk afwijkt van dat van 1980 t/m 1984. In het volgende hoofdstuk wordt op het golfklimaat ingegaan. Evenmin valt te verwachten dat er zich een verandering in het getij klimaat/beeld heeft voorgedaan.

De kusthelling over de gehele brandingszone na de suppletie wijkt niet veel af van die van voor de suppletie.

De oorzaak van de toegenomen erosie (voor 1979:  $295 + 125 = 420 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$ , na 1980:  $630 - 90 = 540 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$ ) moet daarom eerder bij de suppletie zelf worden gezocht. Blijkbaar is er een toename in het langstransport in noordelijke richting t.g.v. de resulterende brandingsstroom en getijstroom. Het meegevoerde materiaal komt voorbij het Bolwerk in het zeegat terecht, waarna het vervolgens uiteindelijk kan worden afgezet in de Waddenzee, op de Vliehors of op de buitendelta. Van dit laatste kan dan weer een deel ten goede komen aan het kustvak Eierland. Het grootste deel zal echter voor het kustvak als verloren moeten worden beschouwd [WL, mei 1979].

Bij het maken van een vergelijking met de resultaten zoals die zijn gepresenteerd in [H.D. Rakhorst, sept. 1989] vallen een aantal overeenkomsten en verschillen op. Om te beginnen hebben de gegevens daar betrekking op het kustvak van raai 25.00 t/m 31.00 i.p.v. 26.00 t/m 31.00.

In [H.D. Rakhorst, sept. 1989] is het zandverlies voor het hele kustvak over de periode 1963 t/m 1979 bepaald op  $470 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$ . Dit komt heel goed overeen met de hier gevonden  $420 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$  over de periode 1970 t/m 1979.

Na de suppletie wordt in [H.D. Rakhorst, sept. 1989] een erosie van  $640 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$  berekend over de periode van 1980 t/m 1988. Dit wijkt enigszins af van de hier berekende  $540 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$ . Al deze getallen hebben betrekking op het gehele kustvak, d.w.z. van de R.S.P.-lijn tot R.S.P.+1000 m. Bij het bepalen van de suppletie hoeveelheden in 1979 en 1984, is uitgegaan van de verliezen zoals die optraden voor dit kustvak. Indien gekeken wordt naar het vak waarbinnen de suppletie is uitgevoerd, tot R.S.P.+400 m, dan ontstaat een geheel ander beeld. In de periode 1970 t/m 1979 is in deze kustzone een zandverlies van  $295 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$  en in de periode 1980 t/m 1984 een zandverlies van  $630 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$  berekend.

Aan de hand van deze waarden kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- binnen het vak waar de suppletie is uitgevoerd is een zandverlies toename opgetreden van 114%.
- onzeker is hoeveel % door langstransport en hoeveel % door dwarstransport is verdwenen.

In hoofdstuk 5 wordt inhoudelijk verder ingegaan op het boven geschetste probleem.



### 5.1 Inleiding

Alvorens er met de bestaande programmatuur modelberekeningen zijn uitgevoerd, zijn er in het verkennende vooronderzoek handberekeningen gemaakt van de

- getij beweging
- brandingsstroom en
- stroming door set up verschillen t.p.v. het kustvak Eierland.

Deze handberekeningen zijn om de volgende redenen uitgevoerd:

- het kunnen inschatten of de modelberekeningen juiste/ betrouwbare uitkomsten geeft (feed-back functie).
- gevoel krijgen voor de (specifieke) waterbeweging t.p.v. kustvak Eierland.
- inzicht krijgen in de berekeningsmethode van het programma Unibest LT.

De handberekeningen zijn terug te vinden als bijlage 14 en 15.

In dit hoofdstuk zullen er aan de hand van gegeven randvoorwaarden, zoals getij- en golfbeweging en sediment eigenschappen, met het rekenmodel Unibest LT langstransport berekeningen worden uitgevoerd. Unibest staat voor UNiform BEach Sediment Transport en berekent zandtransport(verdeling) door een raai loodrecht op de kust.

### 5.2 Randvoorwaarden

#### 5.2.1 Golfklimaat

Voor de bepaling van het golfklimaat is gebruik gemaakt van de gegevens uit de nota: 'Golfklimaten voor de Nederlandse kust', Roskam, 1988. Alleen de gegevens van de golfhoogte, golfperiode enz. zijn overgenomen uit deze nota. Voor meer informatie wordt verwezen naar de nota.

Als golfparameters zijn  $H_{m0}$  en  $T_{m01}$  gekozen. Dit zijn resp. de uit het energiedichtheidsspectrum geschatte significante golfhoogte en de uit dit spectrum geschatte gemiddelde golfperiode. In tabel 5.1 zijn deze waarden weergegeven.



Het klimaat bestaat uit 12 windrichtingssectoren van elk 30°:

0°-30°, 30°-60°, 60°-90°,... .., 330°-360°.

Uit waarnemingen/ opmetingen van topografische kaarten blijkt duidelijk dat alleen golven uit een bepaalde richting bijdragen aan het transport van sediment.

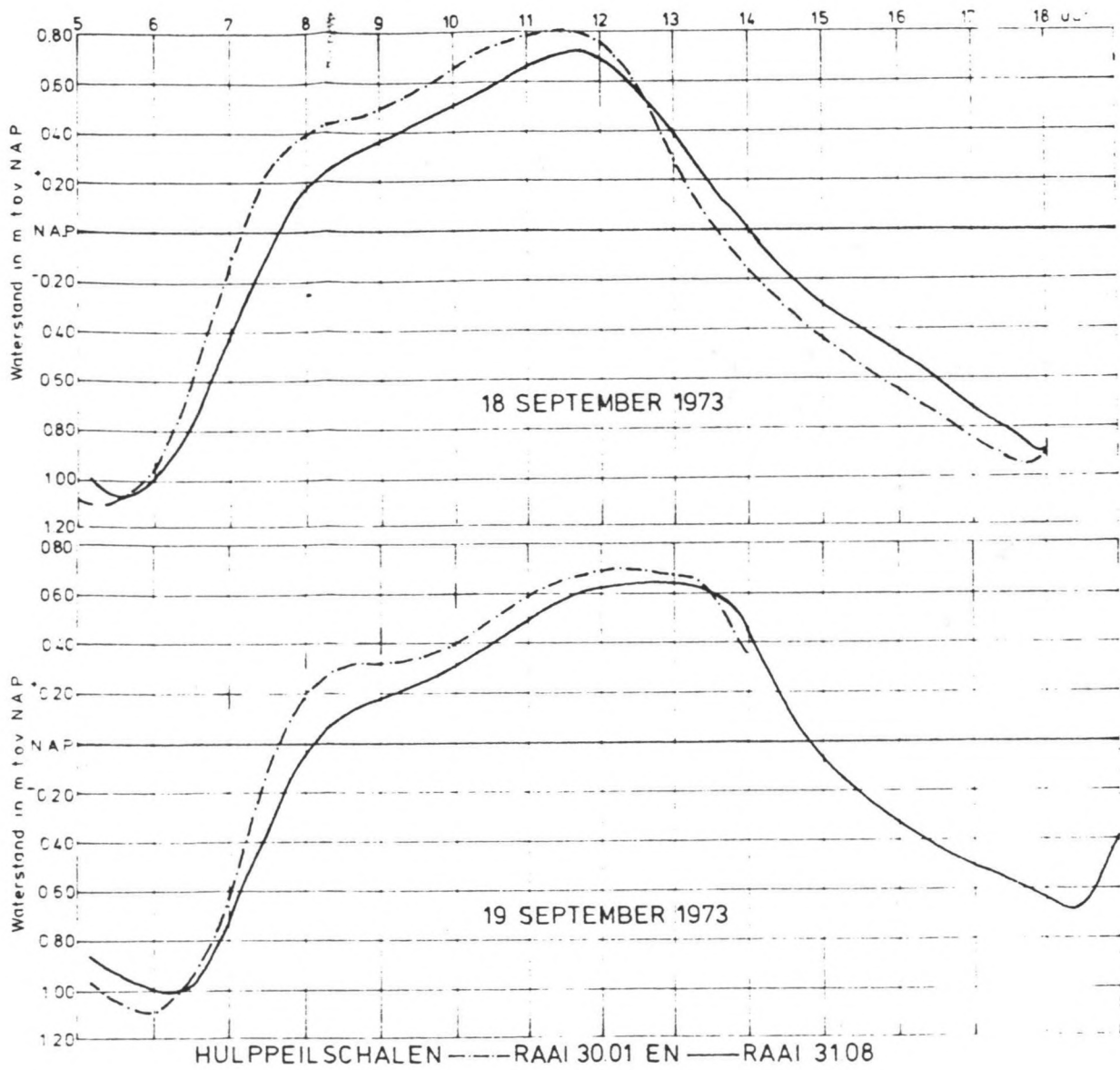
Zo blijven er vier richtingssectoren over; in de verdere beschouwing wordt uitgegaan van de gemiddelde golfrichting per sector.

De sectoren zijn genummerd van 1 t/m 4 en zijn zo ook aangenomen in de berekeningen. In de bijlagen 16 t/m 19 zijn voor deze 4 sectoren het golfhoogte- en golfperiodeklimaat voor Eierland weergegeven.

|   | (1)       | (2)  | (3)       | (4) | (5)  |
|---|-----------|------|-----------|-----|------|
| 1 | 360°-330° | 345° | 13,6   50 | 5,4 | 1,44 |
| 2 | 330°-300° | 315° | 7,4   27  | 5,6 | 1,68 |
| 3 | 300°-270° | 285° | 13,1   48 | 5,5 | 1,73 |
| 4 | 270°-240° | 255° | 16,4   60 | 5,1 | 1,45 |

- (1) richtings sector.
- (2) gem. golfrichting klasse midden.
- (3) frequentie van voorkomen in % en dagen.
- (4) gemiddelde golfperiode, ( $T_{m01}$ ), [s].
- (5) significante golfhoogte, ( $H_{m0}$ ), [m].

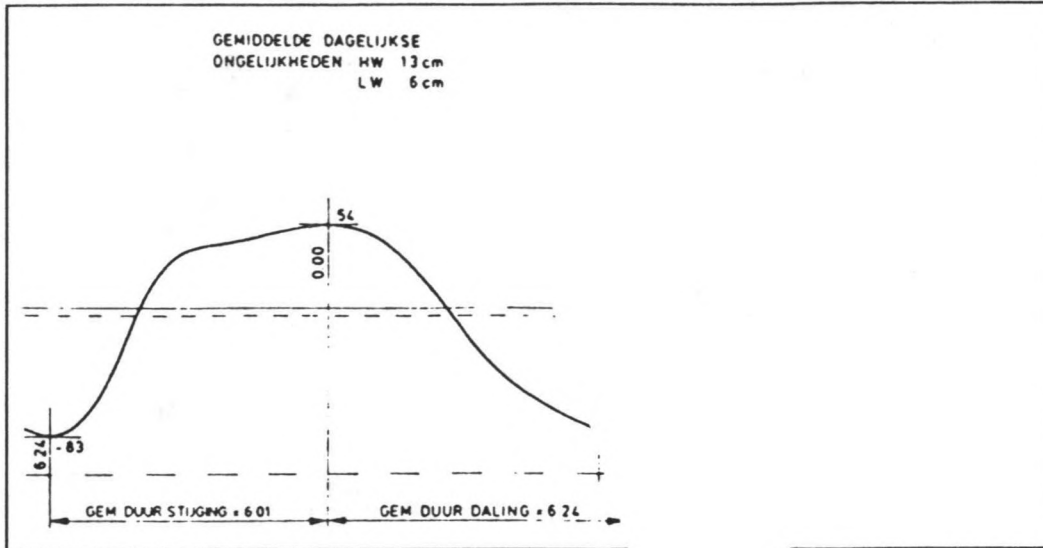
tabel 5.1 Voornaamste golfrichtingssectoren



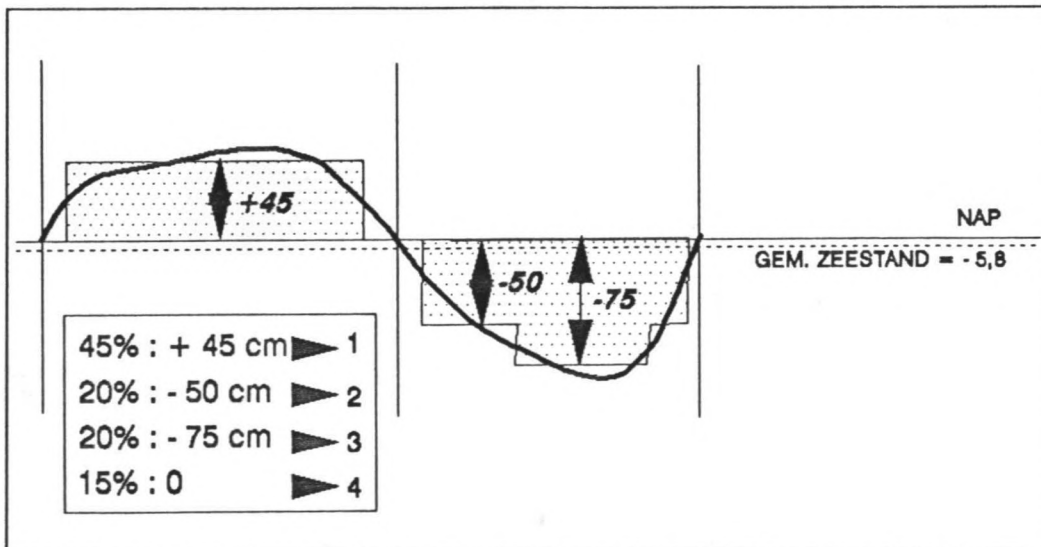
figuur 5.1 getij kromme Texel

5.2.2 Getij

Voor de locatie Eierland zijn slechts beperkte getijgegevens beschikbaar. In dit verslag is als verloop van het getij aangenomen het gemiddelde verloop van de waterstand gedurende een gemiddeld getij te Den Helder [Getijtafels voor Nederland 1990]. Er is een vrij grove getijschematisering toegepast.

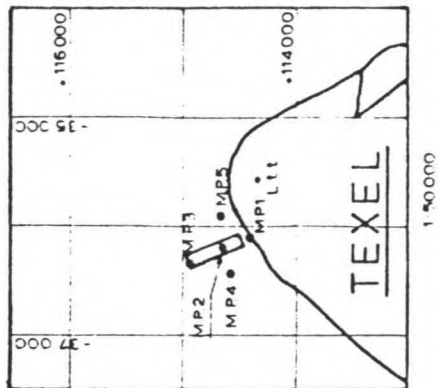
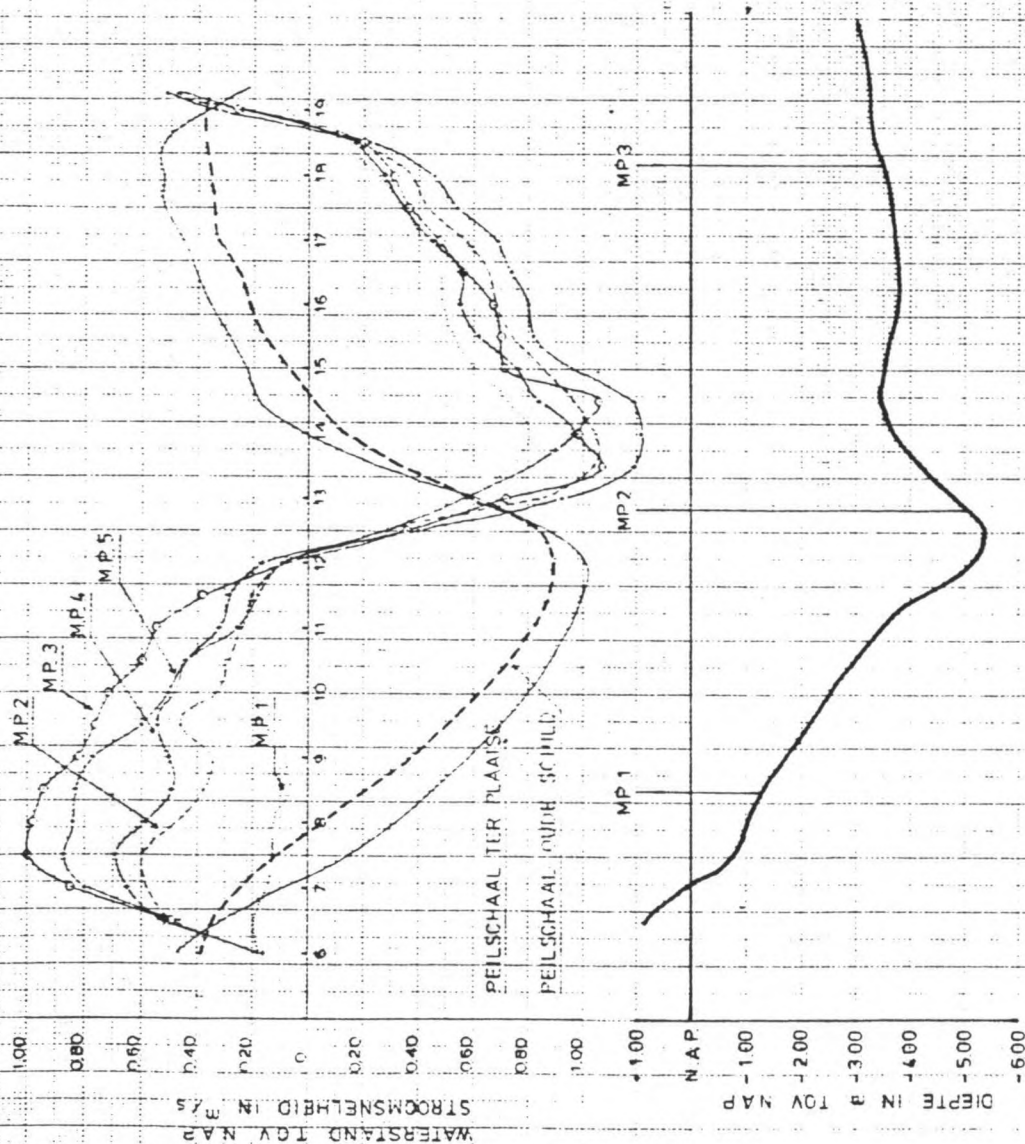


figuur 5.2 Gemiddelde getijkromme te Den Helder



figuur 5.3 Schematisering getijkromme

15 AUGUSTUS 1974



TOELICHTING

STROOMMETINGEN UITGEVOERD MBV STROOMMETER  
OTT C-31 EN RICHTINGMETER TYPE S D HOORN

- ..... MP 1 : POSITIE Y = +114 405  
X = - 36 100
- MP 2 : POSITIE Y = +114 640  
X = - 36 200
- o---o MP 3 : POSITIE Y = +114 930  
X = - 36 335
- ..... MP 4 : POSITIE Y = +114 570  
X = - 36 445
- ..... MP 5 : POSITIE Y = +114 660  
X = - 36 905

- ⌒ PEILSCHAAL TER PLAATSE
- ⌒ PEILSCHAAL OUDF. SCHILD
- PROFIEL 7-8 AUGUSTUS 1974

|                           |              |                        |                |
|---------------------------|--------------|------------------------|----------------|
| Rijkswaterstaat           |              | Directie Noord-Holland |                |
| Texel                     |              | Studiedienst Hoorn     |                |
| Resultaten stroommetingen | Noordzeekust | Rijlage                |                |
| voor NW kust Texel        |              | Formaat 1/1V           |                |
| 15 Augustus 1974          |              | A2                     | 1/1: 4-76/1041 |

figuur 5.4 stroommetingen voor NW kust Texel

Ten behoeve van de aanleg van het zeevierfeld voor de kust van Texel in 1974 werden o.a. stroommetingen en waterstand/ getijmetingen uitgevoerd; zie figuur 5.4. Bestudering van deze getijkromme toont aan dat de (geschematiseerde) getijkromme grote overeenkomst vertoont met de kromme te Den Helder. De stroommetingen werden op een afstand van 1 km uit de kust uitgevoerd.

Aan de hand van deze metingen is een schatting gemaakt van de stroomsnelheden zoals die voorkomen op een diepte van 5 m. Deze stroommetingen zijn in tabel 5.2 afgedrukt. Hierbij is gebruik gemaakt van een door Ir. W.T. Bakker ontwikkelde theorie, beschreven in een studierapport van Rijkswaterstaat onder de titel: "Onderzoek naar de grootte van het langstransport langs de kust bij IJmuiden door de combinatie van getijstroom en orbitaalbeweging", door De Ras (1971). Dit studierapport is eveneens geraadpleegd bij de handberekening van de getijbeweging.

Het programma Unibest LT berekent met twee waarden (= stroomsnelheid bij een waterdiepte) de snelheids(verdeling) over een raai. Tabel 5.2 geeft schematisch weer welke waarden als getij-invoer zijn gebruikt in de berekeningen voor de raaien 27.00, 29.00 en 31.00. De invloed van het Eierlandse gat uit zich in een hogere vloed en eb stroom t.p.v. raai 31.00. Deze hogere stroomsnelheid is afgeleid uit metingen t.p.v. raai 31.00.

|                                | raai                     | 27.00                  | 29.00    | 31.00    |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|----------|----------|
| percentage van<br>getij cyclus | waterstand<br>t.o.v. NAP | <u>stroomsnelheden</u> |          |          |
| 45                             | +45 cm                   | 0,5 m/s                | 0,5 m/s  | 0,7 m/s  |
| 20                             | -50 cm                   | -0,3 m/s               | -0,3 m/s | -0,4 m/s |
| 20                             | -75 cm                   | -0,3 m/s               | -0,4 m/s | -0,4 m/s |
| 15                             | 0 cm                     | 0 m/s                  | 0 m/s    | 0 m/s    |
| + = vloed, - = eb              |                          |                        |          |          |

tabel 5.2 Getij invoer voor langstransport berekening

### 5.2.3 Sedimenteigenschappen, bodemkarakteristieken en golfparameters

Voor de transportberekeningen zijn golf- en getijgegevens alleen niet voldoende. Ook sedimenteigenschappen, bodemkarakteristieken en golfparameters zijn van belang:

#### Sedimenteigenschappen

- Korreldiameter  $D_{50}$  en  $D_{90}$

De  $D_{50}$ -waarde is de korreldiameter welke door 50% (gewichts) van de zandkorrels wordt onderschreden. De  $D_{90}$ -waarde wordt door 90% onderschreden. De volgende waarden, ontleend aan gegevens uit Handboek Zandsuppleties (1988), worden in de berekening toegepast:

$$D_{50} = 0,2 \text{ mm}$$

$$D_{90} = 0,3 \text{ mm}$$

- Valsnelheid  $W$

Globale valsnelheden in de middenrange van zanddiameters zijn "100 maal de mediane korreldiameter per seconde"

Uitgaande van een  $D_{50}$  van 0,2 mm is voor de valsnelheid gebruikt:

$$W = 0,020 \text{ m/s}$$

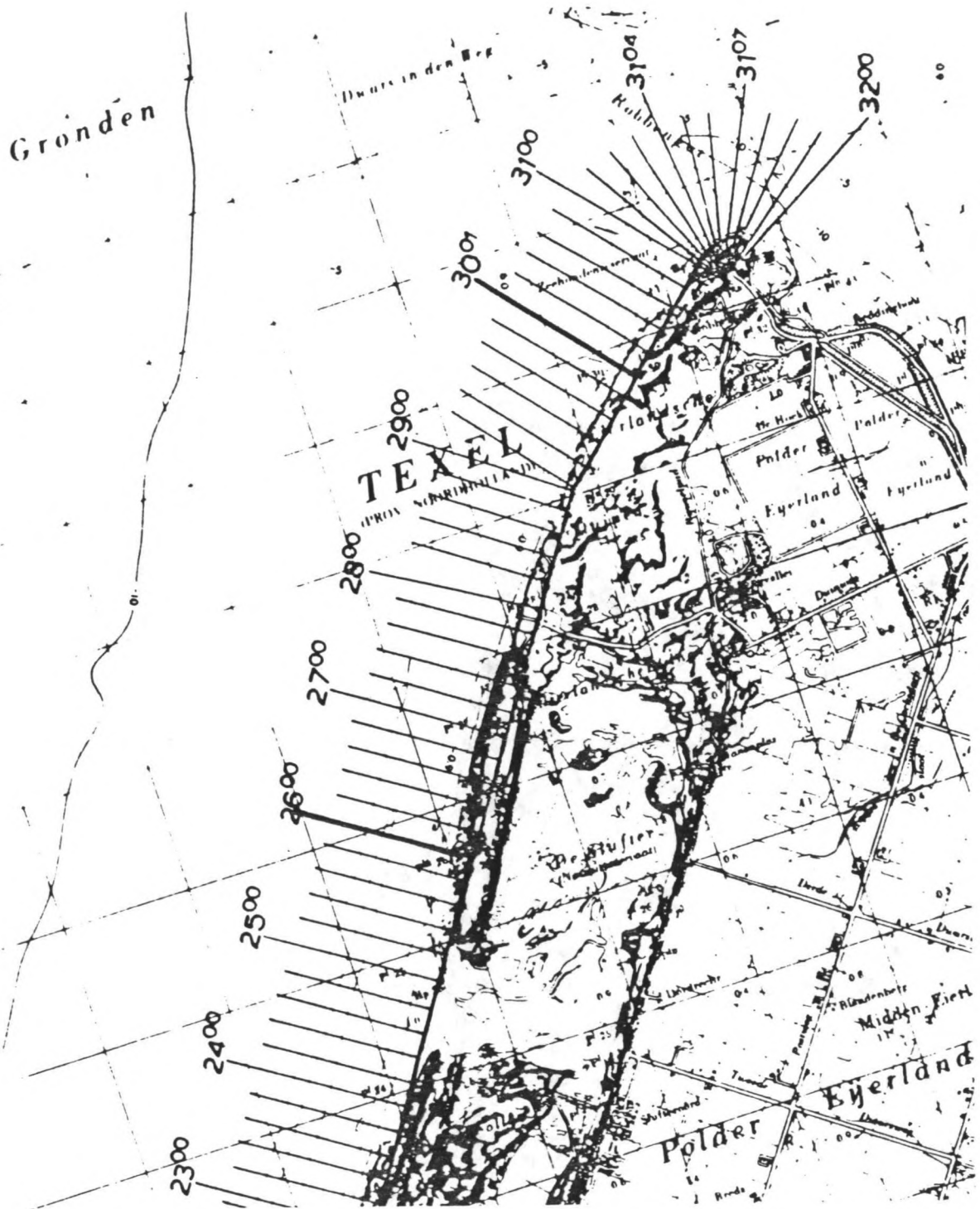
- Dichtheid sediment  $\rho$                        $\rho = 2650 \text{ kg/m}^3$

#### Bodemkarakteristieken

- Bodemruwheid  $r$

Dit is in het algemeen één van de minst goed bekende parameters. In de literatuur wordt gebruik gemaakt van een waarde van 0,03 à 0,06 m (2-3 keer de ribbelhoogte); hier wordt toegepast:

$$r = 0,05 \text{ m}$$



figuur 5.5 raai-overzicht t.p.v. kustvak Eierland



- Bodemwrijving  $f_w$

$$f_w = 0,01$$

#### Golfparameters

- Brekerindex  $\gamma$

Dit is de verhouding tussen de significante golfhoogte en de waterdiepte bij het breken van de golf. Uit natuurmetingen zijn waarden voor de brekerindex gevonden, variërend van 0,4 tot 0,8 (voor regelmatige golven kan de brekerindex zelfs oplopen tot een waarde groter dan 1).

Gekozen is de waarde:

$$\gamma = 0,8$$

#### 5.2.4 Bodemschematisering

Na bestudering van de zes dwarsprofielen van lodings jaar 1988, (zie bijlagen 4 t/m 9) zijn er drie profielen uitgelicht welke in de berekeningen zijn gebruikt. Het zijn de raaien 27.00, 29.00 en 31.00.

raai 27.00: een raai waarvan de profielvorm grote overeenkomsten vertoont met de raaien in het midden van Texel door de aanwezigheid van meerdere brandingsruggen.

raai 29.00: een raai op de overgang naar de buitendelta zonder duidelijke brandingsruggen.

raai 31.00: deze raai wordt gekenmerkt door de invloed van de buiten delta.

Door de bolle vorm van het kustvak zijn de invalshoeken verschillend voor de drie raaien. Dit houdt in dat b.v. voor golfsituatie 1 (zie tabel 5.1 op blz. 32) de invalshoek voor raai 29.00  $10^\circ$  en voor raai 31.00  $20^\circ$  méér bedraagt dan voor raai 27.00.

De kustlijnoriëntatie bedraagt globaal:  $30^\circ/210^\circ$ . (zie figuur 5.5 raaloverzicht t.p.v. kustvak Eierland).

### 5.3 Resultaten van langtransport berekeningen

#### 5.3.1 Golven en getij

De getallen zoals die zijn vermeld op de volgende bladzijde zijn de resultaten van de langtransport berekeningen, uitgevoerd met het programma Unibest LT. Binnen dit programma zijn 5 transportformule's beschikbaar: Englund-Hansen, Bijker, Van Rijn, Bailard en CERC. Er is gebruik gemaakt van de Bijker-formule. De overige 4 formule's zijn aan de hand van een gevoeligheidsanalyse (zie bijlage 20) afgevallen:

- CERC: kan alleen golfgedreventransport mee worden berekend, (geen) getij.
- Bailard: geeft te kleine transport capaciteitsverschilwaarden en is gevoelig voor periode veranderingen.
- Englund-Hansen: geeft overeenkomstige transport capaciteitsverschilwaarden, is echter gevoelig voor o.a. brekerindex veranderingen ([aangepaste] riviertransport formule).
- van Rijn: geeft te kleine transportcapaciteitsverschillen t.o.v. de kuberingswaarden, is gevoelig voor golfperiode en golfhoogte veranderingen.

De gemiddelde afwijking is bij de Bijker-formule het kleinst, ook de verschillen tussen de kuberingen en de langtransportcapaciteits verschillen zijn bij de Bijker-formule het kleinst.

De langtransport berekeningen zijn uitgevoerd voor de strook tussen de R.S.P.-lijn en R.S.P.+400 m. Binnen deze strook bevindt zich de brekerzone. De keuze van de strookbreedte is niet alleen bepaald door de aanwezigheid van de brekerzone; ook bij de inhoudsberekeningen zijn dezelfde grenzen aangehouden. Door deze gelijke vakkeuze kunnen verschillen/ overeenkomsten verkregen worden met de kuberingen en de optredende langtransport verschillen.

De B-waarde in de Bijker-formule, welke varieert van 1 tot 5 (buiten resp. binnen de brandingszone) is op grond hiervan op 5 gesteld. In 5.3.4 wordt gekeken naar de strook R.S.P.+400 m/ R.S.P.+1000 m.

De waarden zijn gebaseerd op een golf/getij beeld met een tijdsduur van 185 dagen.

berekende langstransport capaciteiten:

raai 27.00:  $355 \cdot 10^3 \text{ m}^3 / 185 \text{ dagen}$

raai 29.00:  $477 \cdot 10^3 \text{ m}^3 / 185 \text{ dagen}$

raai 31.00:  $549 \cdot 10^3 \text{ m}^3 / 185 \text{ dagen}$

### 5.3.2 Getij

Er zijn voor de drie raaien berekeningen uitgevoerd waarbij er alleen een getij als randvoorwaarde is ingevoerd; in deze situatie zijn er geen golven. De tijdsduur bedraagt 180 dagen.

berekende langstransport capaciteiten:

raai 27.00:  $21 \cdot 10^3 \text{ m}^3 / 180 \text{ dagen}$

raai 29.00:  $26 \cdot 10^3 \text{ m}^3 / 180 \text{ dagen}$

raai 31.00:  $100 \cdot 10^3 \text{ m}^3 / 180 \text{ dagen}$

### 5.3.3 Stormomstandigheden

De kust staat gedurende enkele dagen per jaar bloot aan zware stormen gecombineerd met een verhoogde waterstand. De media vermelden vaak dat vele meters duin verloren zijn gegaan; nooit waar het afgeslagen duinzand is gebleven. Na de storm is dit zand terug te vinden op de vooroever. Onder normale omstandigheden vindt herstel van het oorspronkelijke profiel plaats d.m.v. golfwerking en verstuiving. Er is in dit geval sprake van een sluitende zandbalans; er is geen zand verloren gegaan t.g.v. een gradiënt in het langstransport. Langs de gesloten Hollandse kust geldt boven beschreven proces. Tijdens stormomstandigheden zal er op Texel geen sprake zijn van een sluitende

de zandbalans; een vergrote langstransportgradiënt zorgt voor een onmiddellijke afvoer van zand.

Deze gradiënt wordt veroorzaakt door:

- stroming door set-up verschillen langs het kustvak.
- extra vulling van het kombergingsgebied t.g.v. waterstandsverhoging.

Op Texel zijn langs de Noordzeekust zes peilschalen geplaatst welke de (max.) waterstanden weergeven die in een storm zijn opgetreden. In de raaien 26.40 en 30.61 staan de peilschalen die de waterstand weergeven voor kustvak Eierland. Onmiddellijk na een storm worden de waarden afgelezen en worden de peilschalen opnieuw ingesteld. Voor peilschaal in de raai 26.40 bedraagt de afstand tot de duinvoet 45 m (situatie eind januari 1990) en voor raai 30.61 60 m. In tabel 5.3 zijn de verschillende waarden weergegeven voor de opgetreden waterstanden. Uit de tabel kan worden afgeleid dat er een peilverschil tussen beide raaien van gemiddeld 10 cm is. Reden voor dit verschil kan worden gezocht in de verschillen in kustlijn oriëntatie, bodemprofiel, windrichting, getij invloed en verschil in positie in profiel. Dit verschil in set up resulteert in een extra (noord)gaande stroom. Met een Chézy berekening wordt een snelheid van ongeveer 45 cm/s gevonden.

---

Chézy:  $u = C\sqrt{hi}$ ,

$i = \text{set up verschil/afstand tussen peilschalen,}$

$i = 0,1/4 \cdot 10^{-3} = 2,5 \cdot 10^{-5},$

$C = 18 \log.12h/r, C = 18 \log.12 \cdot 3/0,05 = 51 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$

$u = 0,45 \text{ m/s.}$

---

Door deze stroomsnelheid zal er een grotere transportcapaciteit ontstaan. Omdat deze situatie zich voordoet tijdens een storm, waarbij duinafslag optreedt, wordt tijdens deze situatie veel van het afgeslagen materiaal onmiddellijk afgevoerd.

|                                  | raai 26.41 | raai 30.61 | $\Delta$ set up |
|----------------------------------|------------|------------|-----------------|
| 12/14 feb. 1990<br>W-NW, 10 Bft. | NAP+2,07 m | NAP+1,96 m | 0,11 m          |
| 8 feb. 1990<br>W, 9 Bft.         | NAP+2,14 m | NAP+2,04 m | 0,10 m          |
| 25/26 jan. 1990<br>WZW, 12 Bft.  | NAP+2,24 m | NAP+2,12 m | 0,12 m          |
| 5 dec. 1988<br>W, 9 Bft.         | NAP+2,48 m | NAP+2,37 m | 0,11 m          |

tabel 5.3 Set up verschillen tijdens storm

Er zijn stormsituaties nagebootst om inzicht te krijgen in de grootte van deze erosie. Als randvoorwaarden zijn golfhoogte en waterstanden aangenomen welke twee dagen per jaar voorkomen. Voor de drie raaien, 27.00, 29.00 en 31.00, met resp. 20°, 30° en 40° hoek van inval zijn deze berekeningen uitgevoerd. Allereerst zijn met het programma ENDEC (golfvoortplanting van diep water naar ondiep) de randvoorwaarden bepaald welke als invoer voor Unibest LT nodig zijn. Er is gerekend met een  $H_{0sig} = 5$  m en een waterstand van NAP+2 m. Deze waarden zijn ontleend aan: Jaarboek van Afvoeren, waterstanden, golven en watertemperaturen (1986) en Handboek Zandsuppleties (1986), (zie bijlage 21). De waarden die worden gevonden voor de golfhoogte en hoek van inval bij 1000 m zeewaarts grens, zijn als randvoorwaarden bij Unibest LT ingevoerd. Voor het transport is er in dit geval eveneens gekeken naar een strook R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m, omdat tijdens een storm de meeste veranderingen in deze strook zullen optreden.

Om de extra stroom t.g.v. de set up verschillen te simuleren is het volgende gedaan: de getijstroom die in de vorige berekeningen was gedefinieerd op een diepte van 5 m, wordt vervangen door een (geschatte) getijstroom op een diepte van 3 m, welke bovendien vergroot is. Op deze manier wordt een zeer sterke getijstroom geïnduceerd. De berekeningen zijn, zoals vermeld, uitgevoerd over een breedte van 400 m zeewaarts, zodat de overschatting van het getij zich alleen in deze strook uit. Het is deze overschatting van de getijstroom die gezien kan worden als een benadering van de extra stroming door set-up verschillen.

De getij invoer bestaat uit twee componenten, welke niet afzonderlijk bekeken kunnen worden:

- het getij zelf
- de set-up stroom

De invoerwaarden zoals die zijn gebruikt bij de berekening van het langs-transport zijn :

|          |       |       |       |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| raai     |       | 27.00 | 29.00 | 31.00 |
| $H_{0s}$ | [m]   | 3,0   | 2,8   | 1,6   |
| $\phi$   | [°]   | 15    | 21    | 25    |
| vloedstr | [m/s] | 0,6   | 0,75  | 1,3   |
| ebstroom | [m/s] | -0,25 | -0,3  | -0,35 |

Voor de drie raaien worden de volgende transportcapaciteiten gevonden:

raai 27.00 :  $59 \cdot 10^3 \text{ m}^3/2$  dagen

raai 29.00 :  $80 \cdot 10^3 \text{ m}^3/2$  dagen

raai 31.00 :  $112 \cdot 10^3 \text{ m}^3/2$  dagen

#### 5.3.4 R.S.P.+400 m/ R.S.P.+1000 m strook

Voor het zeewaartse deel zijn eveneens transportberekeningen uitgevoerd, echter met een aantal verschillen t.o.v. het landwaartse deel. Deze verschillen zijn: in de Bijker-formule is de B-waarde op 1 gesteld, immers er is aangenomen dat de brandingszone zich in de strook van 400 m bevindt.

Het golfklimaat is niet veranderd, er zijn wel kleine correcties op de getijstroom uitgevoerd. Voor de raaien 27.00. en 29.00 zijn er geen wijzigingen in de vloed-en ebstromingen. Er kan gesteld worden dat de vloedstroom t.p.v. Bolwerk Eierland (raai 31.00) zich concentreert vlak onder de kust en dat verder zeewaarts minder invloed merkbaar is. Daarom is voor raai 31.00 de vloedstroom van 0,70 m/s gereduceerd naar 0,60 m/s.

Resultierend zijn de randvoorwaarden voor de berekeningen:

- voor de drie raaien geldt het zelfde golfklimaat, echter de hoek van inval is verschillend.
- getijstroom:   raai 27.00       +0,5 m/s, -0,3 m/s.  
                  raai 29.00       +0,5 m/s, -0,3 m/s.  
                  raai 31.00       +0,6 m/s, -0,4 m/s.
- B waarde in Bijker-formule op 1 gesteld.

Evenals bij het landwaartse deel wordt ook nu een resulterend noordgaand transport gevonden. De verschillen in transportcapaciteit zijn in verhouding tot de strook R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m geringer. Voor de drie raaien worden de volgende transportcapaciteiten gevonden:

raai 27.00:      $260 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$

raai 29.00:      $285 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$

raai 31.00:      $325 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$

Aan de hand van deze waarden kan worden afgeleid dat er een capaciteits toename in noordgaande richting is. De grootte van dit verschil inclusief het verschil tussen raai 26.00/27.00 bedraagt  $75 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$ . Wanneer er nu gekeken wordt naar de kuberingen van deze strook, dan wordt er juist een sedimentatie van dezelfde orde van grootte gevonden ( $80 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$ ) voor de periode 1980/ 1984, maar een erosie van  $125 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$  voor de periode 1970/ 1979. Een verklaring voor de sedimentatie van  $80 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  in de periode 1980/ 1984 is dat de kuberingsgetallen bepaald zijn in een periode onmiddellijk na een suppletie. Door deze suppletie treedt er een verstoring op in het bestaande profiel en vindt er herverdeling van sediment plaats, die zich voornamelijk zeewaarts richt. Uit de kuberingsgetallen blijkt dat enkele raai vakken wel erosie kennen; het resultaat van een nog voortgaande aanpassing van het profiel aan de heersende wind-en golfomstandigheden, die zich ook kan uiten in een verlies van zand in een vak.



#### 5.4 Conclusie R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m strook

Om een totaal beeld te krijgen van het transport zoals dat optreedt gedurende het gehele jaar (exclusief een storm), worden de transportcapaciteiten van golven/getij en getij bij elkaar opgeteld. De totale transporten worden dan:

raai 27.00:  $380 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$  (inclusief storm:  $440 \cdot 10^3$ )

raai 29.00:  $500 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$  (inclusief storm:  $580 \cdot 10^3$ )

raai 31.00:  $650 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$  (inclusief storm:  $760 \cdot 10^3$ )

Aan de hand van de hierboven vastgestelde langtransport waarden kan worden afgeleid dat er een capaciteitstoename is van raai 27.00 naar raai 31.00. Deze transportverschil is voor raai 27.00/29.00:  $120 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$  en voor raai 29.00/31.00:  $150 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$ . Voor de transportcapaciteits bepaling over het gehele kustvak (van raai 26.00 t/m raai 31.00) zijn voor raai 26.00 dezelfde berekeningen uitgevoerd. Voor raai 26.00 wordt een transportcapaciteits waarde van  $325 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$  gevonden (= golven/getij + getij). Wordt nu gekeken naar het verschil over het kustvak dan wordt een waarde van  $325 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$  gevonden. Als ook een stormsituatie wordt meegenomen, dan wordt een verschil in het langtransport gevonden van ongeveer  $400 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$ .

Als we deze getallen in een tabel plaatsen en daarbij ook de aandelen van de verschillende componenten vermelden, dan ontstaat het volgende beeld:

| componenten  | transportverschil voor de strook<br>R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m | in %                         |
|--------------|---|------------------------------|
| golven/getij | $-250 \cdot 10^3$   | 63                           |
| getij        | $-75 \cdot 10^3$  | 19                           |
| storm        | $-65 \cdot 10^3$  | 16                           |
| totaal       | $\frac{\quad}{\quad} +$<br>$-400 \cdot 10^3/\text{jaar}$      | $\frac{\quad}{\quad}$<br>100 |

[- = erosie]

tabel 5.4 Erosie verdeling kustvak Eierland

Aan de hand van deze waarden kan geconcludeerd worden dat 63% van de erosie voor rekening komt van de component golven/getij. Het is ook deze component die verantwoordelijk is voor het opschuiven van de dieptelijnen. In hoofdstuk 4 is hier reeds op ingegaan. Door dit opschuiven van het gehele profiel zal ook het strand 'lager' komen te liggen. Door deze verlaagde ligging wordt de basis gelegd voor grote duinafslag waarden; het afgeslagen zand zal het lage ('arme') strand opvullen. In het onderzoek en ontwerp van de zeevaartse kustverdediging zal ter dege met deze golven/getij component rekening dienen te worden gehouden, daar deze de grootste bijdrage aan de erosie veroorzaakt.

Tijdens stormomstandigheden wordt 'slechts' 16% van de totale erosie bereikt. Deze schijnbaar kleine component heeft wel degelijk invloed in het erosie proces. Met het programma DUINAF zijn duinafslag berekeningen gemaakt voor de raaien 27.00, 29.00 en 31.00 (zie bijlage 22). Een berekening heeft aangetoond dat met dezelfde randvoorwaarden als gebruikt bij de Unibest LT berekening, een gemiddelde duinafslagwaarde van  $\approx 25 \text{ m}^3/\text{m}^1$  wordt gevonden.

Voor het kustvak met een lengte van 5 km zou dat betekenen:  $5000 \cdot 25 = 125 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  duinafslag. Als we nu kijken naar de erosiewaarde tijdens storm omstandigheden ( $65 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ ), dan wordt  $\approx 50\%$  ( $65/125$ ) van het afgeslagen materiaal onmiddellijk afgevoerd en moet voor het kustvak als verloren worden beschouwd.

In het WL-rapport "duinafslag ten gevolge van de stormvloed op 1 en 2 februari 1983, toetsing van het rekenmodel DUROS voor de verwachting van duinafslag tijdens stormvloed" zijn duinafslag berekeningen uitgevoerd o.a. voor de raaien 26.00, 26.40 en 26.80 op Texel. De drie duinafslagprofielen zijn in bijlagen 23, 24 en 25 terug te vinden. Na bestudering van deze profielen kan geconcludeerd worden dat tijdens storm omstandigheden een (groot) gedeelte van de duinafslag onmiddellijk voor het kustvak verloren gaat. De getrokken lijn geeft het profiel voor de storm (metingen voor storm: strand 2 à 3 weken, lodingen nov. 1982), de '— — — —'-lijn onmiddellijk na de storm. De '— — — —'-lijn is het afslag profiel volgens DUROS, welke gebaseerd is op een sluitende zandbalans in dwarsrichting. (oppervlak afslag = oppervlak afzetting). Vooral bij raai 26.80 is niets meer terug te vinden van de duinafslag; deze zal tijdens de storm afgevoerd moeten zijn.

Om overzicht te krijgen in de verschillen en/of overeenkomsten van deze berekeningen met de kuberingen is de onderstaande tabel gemaakt. De waarden van de strook R.S.P.+400 m/ R.S.P.+1000 m zijn nu wel meegenomen.

|     | Unibest LT                        | Kuberingen 70/79                  | Kuberingen 80/84   |
|-----|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| (1) | $-400 \cdot 10^3$                 | $-300 \cdot 10^3$                 | $-630 \cdot 10^3$  |
| (2) | $-75 \cdot 10^3$                  | $-125 \cdot 10^3$                 | $+90 \cdot 10^3$   |
| (3) | $\frac{\quad}{-475 \cdot 10^3} +$ | $\frac{\quad}{-425 \cdot 10^3} +$ | $\frac{\quad}{-540 \cdot 10^3} + \text{m}^3/\text{jaar}$ |

(1) = R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m, (2) = R.S.P.+400 m/ R.S.P.+1000 m, (3) = R.S.P.-lijn/ R.S.P.+1000 m

[ - = erosie]                      [ + = sedimentatie]

tabel 5.5                      Vergelijking van Unibest LT berekening met Kuberingen

Uit deze tabel kan worden afgeleid dat 84% (400/475) van de totale erosie berekend met Unibest LT voor rekening komt van de strook R.S.P.-lijn/ R.S.P. 400 m; slechts 16% voor de strook R.S.P.+400 m/ R.S.P.+1000 m. De eindwaarde berekend met Unibest LT valt precies tussen de kuberingswaarden. De grootste gelijkens is wordt echter met de kuberingsperiode 70/79 gevonden. Dit is ook niet zo verwonderlijk, immers deze periode kon gezien worden als de 'ongestoorde' situatie.

Gesteld kan worden n.a.v. deze waarden dat met Unibest LT betrouwbare langstransportwaarden berekend kunnen worden. Door de zandsuppletie treedt er een duidelijke verstoring in dwarsprofiel op; er zal sediment door dwarstransport ten gunste van de strook R.S.P.+400 m/ R.S.P.+1000 m worden verplaatst. Deze waarde is niet met het programma Unibest LT te berekenen.

6.1 Inleiding

In hoofdstuk 5 zijn met het rekenmodel Unibest LT langstransport berekeningen uitgevoerd. De resultaten van deze berekeningen vertoonden grote overeenkomst met de 'harde' gegevens van de kuberingen. Op grond van deze gelijkennis in resultaten kon de volgende conclusie worden getrokken:

Van de totale erosie ( $473 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$ ) komt 84% ( $400 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ ) voor rekening van de strook R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m en 16% ( $75 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ ) voor rekening van de strook R.S.P.+400 m/ R.S.P.+1000 m.

Een gedetailleerde indeling van de strook R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m laat zien dat de component golven/getij voor 63% verantwoordelijk is voor de erosie. Bij het ontwerp van de golfbrekers evenwijdig aan de kust is de aanname gedaan dat de component getij niet gereduceerd wordt door de bouw van deze kustverdediging. In de ontwerpfase is bovendien (nog) geen rekening gehouden met de storm situatie, omdat deze component maar voor 16% verantwoordelijk is van de totale erosie.

De erosie van kustvak Eierland wordt veroorzaakt door een verschil in transportcapaciteit tussen raai 26.00 en 31.00. Om deze erosie te stoppen mag er geen verschil in langstransport meer zijn tussen deze twee raaien.

Deze twee waarden zijn:

$$\text{raai 26.00: } 325 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$$

$$\text{raai 31.00: } 650 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$$

---


$$\text{transport verschil: } -325 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$$

Over het traject van raai 26.00 naar raai 31.00 zal voor de strook R.S.P.-lijn/ R.S.P.+400 m onder gemiddelde omstandigheden (golven/getij) een transportvermindering van  $325 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$  op moeten treden. Omdat gesteld is dat het aandeel van de component getij niet beïnvloed wordt door de aanleg van de golfbrekers, zal een reductie geheel 'gehaald' moeten worden uit de component golven/getij. Voor de raaien 27.00, 29.00 en 31.00 gelden de volgende transportwaarden, opgedeeld in de verschillende componenten.

In de laatste kolom zijn de waarden aangegeven waarmee de component golven/getij gereduceerd moet worden om het beoogde effect te verkrijgen.

|            | golven/getij     | getij            | totaal           | reductie         |
|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| raai 26.00 |                  |                  | $325 \cdot 10^3$ | 0                |
| raai 27.00 | $355 \cdot 10^3$ | $21 \cdot 10^3$  | $380 \cdot 10^3$ | $55 \cdot 10^3$  |
| raai 29.00 | $477 \cdot 10^3$ | $26 \cdot 10^3$  | $500 \cdot 10^3$ | $175 \cdot 10^3$ |
| raai 31.00 | $549 \cdot 10^3$ | $100 \cdot 10^3$ | $650 \cdot 10^3$ | $325 \cdot 10^3$ |

'nieuwe'-langstransport waarden; [ $m^3$ /jaar]

raai 27.00:  $355 \cdot 10^3 - 55 \cdot 10^3 = 300 \cdot 10^3$  (15% transport vermindering)  
 raai 29.00:  $477 \cdot 10^3 - 175 \cdot 10^3 = 300 \cdot 10^3$  (37% transport vermindering)  
 raai 31.00:  $549 \cdot 10^3 - 325 \cdot 10^3 = 225 \cdot 10^3$  (60% transport vermindering)

M.b.v. de benadering  $S \approx H^2$  zal voor de drie raaien de volgende golfhoogte reductie moeten optreden:

raai 27.00:  $\sqrt{15\%} = 40\%$

raai 29.00:  $\sqrt{37\%} = 60\%$

raai 31.00:  $\sqrt{60\%} = 80\%$

Deze reducties zullen verkregen worden afhankelijk van de hoogte, breedte en doorlatendheid van de golfbrekers voor de kust. Alvorens er berekeningen worden gepresenteerd wordt er eerst in 6.2 ingegaan op de werking van golfbrekers evenwijdig aan de kust.

## 6.2 Werkingsprincipe

De golfbrekers evenwijdig aan de kust kunnen boven water uitsteken; soms ook is de toepassing van onder-water dammen mogelijk. Bij golfvelden met wat hogere golven breken de golven dan op de onder-water dam.

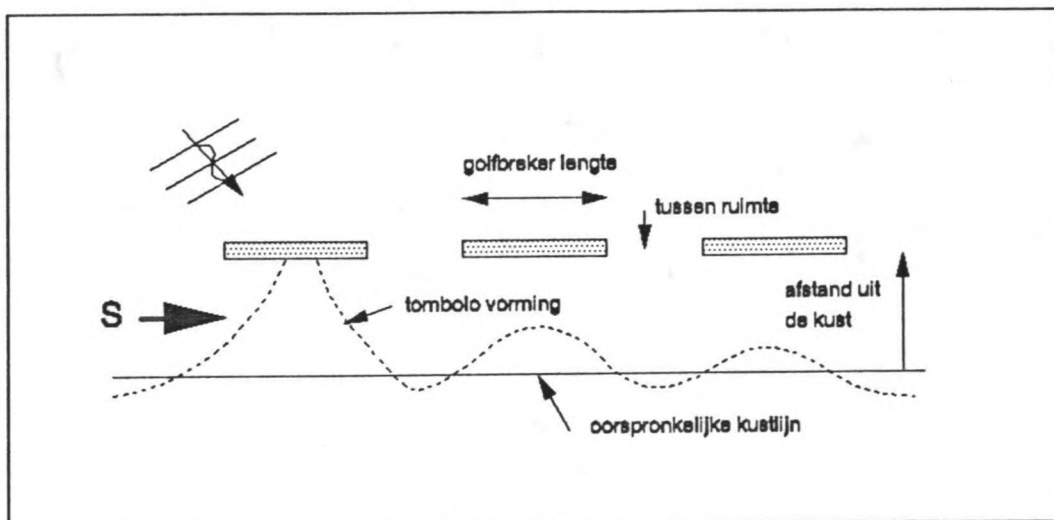
Achter de dam is de golfhoogte dan lager en minder sedimenttransport kan worden verwacht (CERC formule:  $S$  evenredig met  $H^2$ ). Bij golfvelden met lage golven gaat er geen reducerende werking van onder-water dammen uit. Dus slechts over een lange periode gezien kan de effectiviteit van een dergelijke

kustverdedigings systeem worden beoordeeld. Bij de beëindiging van een serie langsdammen zijn inscharings problemen te verwachten.

Bij het functioneren van golfbrekers evenwijdig aan de kust kunnen twee situaties worden onderscheiden:

- normale situatie

In deze (185 dagen durende) situatie vindt er een langstransport van sediment plaats. T.p.v. de eerste langsdam wordt dit transport vermindert, zodat er aanzanding zal optreden. Hierdoor krijgt de kust na verloop van tijd een vorm zoals die getekend in figuur 6.1. Afhankelijk van de verhouding tussen de lengte van de langsdam en de afstand uit de kust, kan het erosie/sedimentaire proces zover voortschrijden, dat de eerste langsdam 'volgroeit' aan de kust. Er is nu sprake van tombolovorming.



figuur 6.1 Aanzanding/erosie achter langsdammen

- storm situatie

In dit geval is de waterstand hoger, terwijl de golfhoogte eveneens toeneemt. Achter de dammen, die zich nu onder water kunnen bevinden, treedt een verandering van het golfbeeld op. Ten gevolge van de golfreductie wordt de aanval op de kust verminderd, hetgeen tot een verminderde duinafslag leidt. M.b.t. de werking van dammen tijdens duinafslag is het volgende vermeldenswaardig.



Een dam evenwijdig aan de kust vormt een mogelijkheid om de mate van duinafslag te beperken. In twee opzichten:

- de dam kan de golfhoogte door breken verlagen. Gezien de waterstandsverhoging bij een stormvloed zal overigens het uiteindelijke effect van een onder normale omstandigheden al beneden de waterspiegel liggende dam maar beperkt zijn.
- de dam kan werken als een opvang van zand, waardoor het afgeslagen zand niet verder zeewaarts wordt verplaatst. (zogenaamd hangend profiel, maar moet dan 'hoog' in profiel liggen).

### 6.3 Bepaling van golfbrekerafmetingen

Voor de afmetingen van de golfbrekers is een eerste schatting gemaakt met het model Unibest LT. Zoals is aangegeven op bladzijde 47 moeten de langstransport waarden voor de drie raaien worden verminderd, met resp. 15%, 37% en 60%. Afhankelijk van deze waarden zijn de afmeting van de golfbrekers bepaald.

De afmetingen zijn zodanig bepaald dat er een transportwaarde optrad zoals bij die raai hoorde op te treden. Voor raai 27.00, 29.00 en 31.00 was dat resp.  $300 \cdot 10^3$ ,  $300 \cdot 10^3$  en  $225 \cdot 10^3$  m<sup>3</sup>/ 185 dagen.

Bij de bodemschematisering zijn de volgende bodemwijzigingen ingevoerd (zie de bijlagen 26, 27 en 28):

raai 27.00:      600 m : NAP -2,5 m → bodemligging  
                  610 m : NAP +0,5 m → bovenzijde van de golfbreker  
                  620 m : NAP +0,5 m → bovenzijde van de golfbreker  
                  630 m : NAP -2,5 m → bodemligging

raai 29.00      600 m : NAP -4 m  
                  615 m : NAP +1 m  
                  625 m : NAP +1 m  
                  640 m : NAP -4 m

raai 31.00      600 m : NAP -2 m  
                  615 m : NAP +1,5 m  
                  625 m : NAP +1,5 m  
                  640 m : NAP -2 m



Na deze bodemwijzigingen zijn er met dezelfde golven/getij waarden berekeningen uitgevoerd. De resultaten zijn voor de drie raaien:

raai 27.00:  $310 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  / 185 dagen  
raai 29.00:  $296 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  / 185 dagen  
raai 31.00:  $240 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  / 185 dagen

Gesteld kan worden dat de afmetingen van de golfbrekers voldoende reductie geven om de langstransportgradiënt te doen verwaarlozen.

Om het gehele kustvak te beschermen kan niet met één golfbreker worden volstaan, maar zullen een aantal evenwijdig aan de kust worden aangelegd. Afhankelijk van de lengte, de opening tussen de brekers, de afstand uit de kust en de doorlatendheid zal de kustlijn zich gaan ontwikkelen. Omdat in de berekeningen aangenomen is dat er geen gradiënt mag optreden voor het kustvak zal een deel van het langstransport blijven bestaan. Om het gehele kustvak, met een lengte van ruim 5 km, te beschermen zal de keuze van de golfbrekerlengte en de afstand uit de kust bepalend zijn voor deze vorming van de kustlijn. In 'Detached breakwaters for shore protection' (Dally and Pope, jan. 1986) wordt een verhouding aangegeven tussen de golfbrekerlengte en de afstand uit de kust voor de vorming van een tombolo. Deze verhouding luidt:

$\text{lengte golfbreker} \geq 1,5 * \text{afstand uit de kust.}$

In het geval van Texel mag er geen sprake van aanzanding zijn (= tombolo vorming), immers er is dan een gradiënt in het transport. Dit was juist niet de bedoeling.

De afstand zeewaarts van de golfbreker t.o.v. de R.S.P.-lijn is bepaald op ongeveer 400 m. Deze ligging komt globaal overeen met de buitenste brekerlijn. De afstand van de R.S.P.-lijn tot het natte strand bedraagt 150 à 200 m. Op grond van de bovengeschreven verhouding bedraagt de maximale golfbrekerlengte dan ongeveer 300 m.

De bovenzijde van de golfbrekers liggen op resp. NAP+0,5 m, NAP+1 m en NAP+1,5 m. Door deze ligging zullen niet alle golven (volledig) worden gebroken, echter dit is ook een voorwaarde om de transportcapaciteit van  $325 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ /jaar te waarborgen.

De optredende retourstroom aan de bodem in de brandingszone wordt door de

golfbreker belet. Afhankelijk van de permeabiliteit van de golfbreker zal het water tussen de golfbrekeropening en door de golfbreker zeewaarts afstromen. Deze retourstroom (welke verzadigd is met zand en nogal wat transport tot gevolg kan hebben) zal de golfaanval tussen de golfbrekers tegengaan. De ruimte tussen twee golfbrekers is bepaald op twee maal de afstand uit de kust: 500 m. Door refractie zullen de inkomende golven worden afgebogen en hun energie verliezen. Door de afwisseling van wel golfbreker, geen golfbreker zal de kustlijn zich gaan ontwikkelen zoals is aangegeven in figuur 6.1.

Aan de hand van de golfrichting (zie tabel 5.1 op bladzijde 32) kan de oriëntatie van de golfbrekers worden bepaald. De resulterende hoek van golfval bedraagt  $296^\circ$ ; de golfbreker oriëntatie wordt dan  $296^\circ + 90^\circ \rightarrow 26^\circ$ .

Voor het kustvak tussen de raaien 26.00 en 29.00 bedraagt de kustlijn oriëntatie globaal  $30^\circ$ , tussen raai 29.00 en 31.00 ongeveer  $40^\circ$ . Geconcludeerd kan worden dat de golfbrekers gaande langs het kustvak naar het noorden toe onder een steeds grotere hoek t.o.v. de kust komen te liggen. Wanneer men kijkt naar het totale kustvak met een lengte van ruim 5 km (gerekend vanaf de Slufteropening t/m raai 31.00, d.i. bij de vuurtoren), dan zijn er zeven golfbrekers nodig:  $7 * 300 + 6 * 500 = 5100$  m.

Ter plaatse van raai 27.00 zal de hoogte van de golfbreker NAP+0,5 m moeten bedragen, voor raai 29.00 NAP+1 m en voor raai 31.00 NAP+1,5 m. Gaande langs het kustvak van zuid naar noord liggen de eerste twee golfbrekers op NAP+0,5 m, de volgende drie op NAP+1 m en de laatste twee op NAP+1,5 m.

Voor de bepaling van de massa van een golfbrekerelement is gebruik gemaakt van de formule van Hudson:

$$W = \frac{\rho * H^3}{K_d * \Delta^3 * \cot(\theta)}$$

$\rho$  = dichtheid van golfbrekermateriaal

$H$  = golfhoogte

$K_d$  = schade coëfficiënt

$\Delta$  = relatieve dichtheid en

$\theta$  = helling van de golfbreker.

# Standard dimensions of ACCROPODE® blocks

| Volume of block (m <sup>3</sup> ) | Height (m) | Weight for d=2.4 (t) | Volume of concrete per m <sup>2</sup> of facing (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) | Prefabrication area required per block (m <sup>2</sup> ) | Number of blocks stored per 100 m <sup>2</sup> |
|-----------------------------------|------------|----------------------|---|--|--|
| 0.8                               | 1.33       | 1.92                 | 0.61  | 4.1  | 81.5   |
| 1.5                               | 1.64       | 3.6                  | 0.75  | 5.1  | 53   |
| 2.5                               | 1.95       | 6.0                  | 0.89  | 6.0  | 38   |
| 4                                 | 2.27       | 9.6                  | 1.04  | 7.0  | 27   |
| 6.3                               | 2.65       | 15.12                | 1.20  | 8.2  | 20   |
| 9                                 | 2.98       | 21.6                 | 1.36  | 9.2  | 16   |
| 12                                | 3.28       | 28.8                 | 1.50  | 10.1   | 13   |
| 16                                | 3.61       | 38.4                 | 1.64  | 11.1   | 11   |
| 21                                | 3.95       | 50.4                 | 1.79  | 12.2   | 9  |
| 27                                | 4.30       | 64.8                 | 1.96  | 13.1   | 8  |

Initial choice of the size of ACCROPODE® block is made by application of Hudson's formula:

$$W = \frac{w_r H^3}{K_D (Sr-1)^3 \cotan \alpha}$$

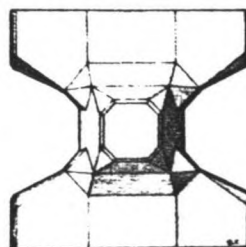
in which the coefficient  $K_D = 12$  is adopted for non-breaking waves, and  $K_D = 10$  for breaking waves.

Corrections have to be made to this preliminary calculation to take into account notably the effect of wave period, the bed slope in front of the structure and the validity attributed to the data determining the design wave height.

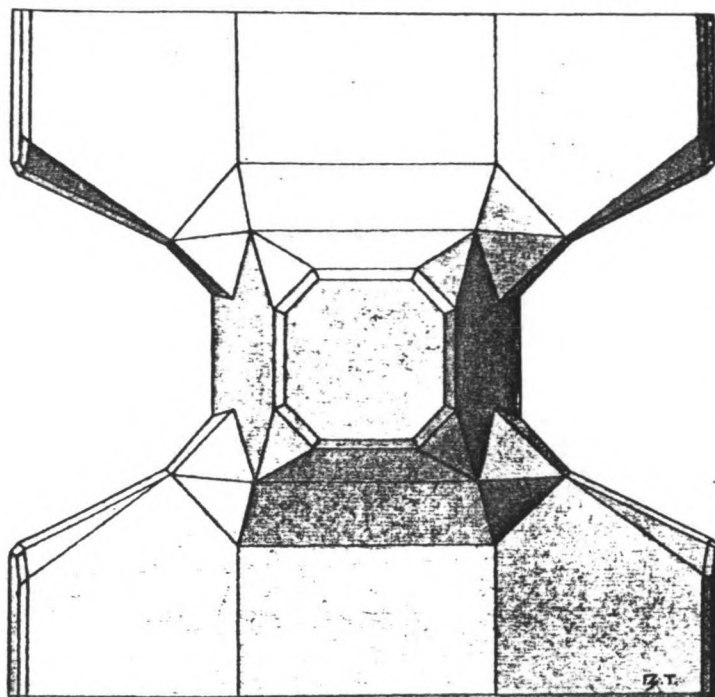
Numerous laboratory tests\* have shown that application of the above  $K_D$  values in the design calculations is the equivalent of taking into account a **safety factor of 1.36 with respect to the design wave height and consequently 2.53 with respect to the unit weight of the block.**

\* Such stability tests have been performed in particular at the Delft Hydraulics Laboratory, Netherlands (1987), First Design Institute of Navigation Engineering of the Ministry of Communications, Tjantjin, China (1987), National Research Institute for Oceanology, Stellenbosch, South Africa (1988), Central Water and Power Research Station, Poona, India (1988), Texas A & M University Laboratory, USA (1989), Penta Ocean Hydraulic Research, Japan (1989) and Cedex Ministerio de Obras Publicas, Spain (1990).

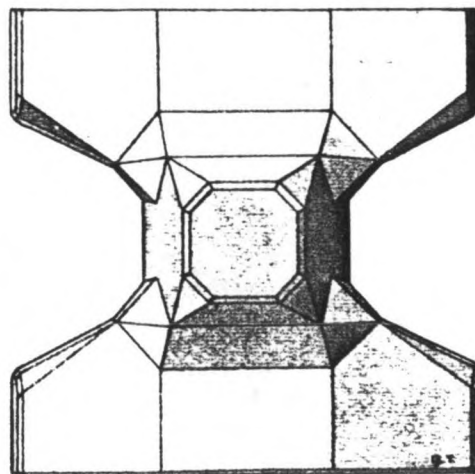
0.8 m<sup>3</sup> block



21 m<sup>3</sup> block



6.3 m<sup>3</sup> block



Gekozen is voor de ACCROPODE als golfbrekerelement. Reden voor deze keuze is dat de elementen in verschillende grootte's te maken zijn en makkelijk ver-voerbaar/ plaatsbaar zijn. Op de linker pagina is enige informatie van de ACCROPODE weergegeven.

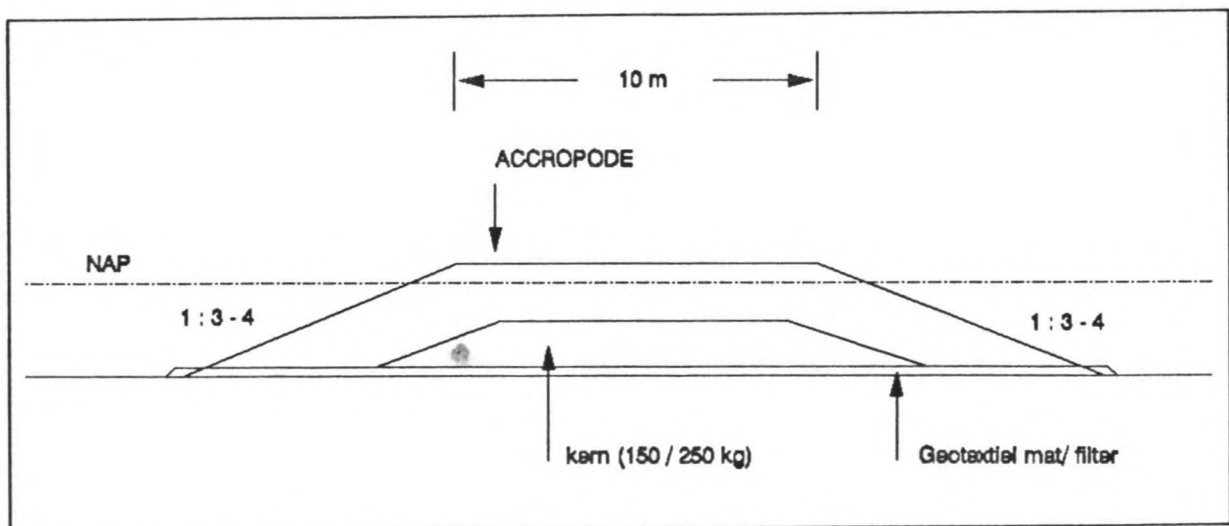
Op basis van de volgende waarden kan de massa van een element worden bepaald.

$$\rho = 2400 \text{ kg/m}^3, H = 4 \text{ m}, K_d = 12, \Delta = 1,34, \cot(\theta) = 3 \text{ à } 4.$$

$$W \approx 1800 \text{ kg}.$$

Uit de tabel op de linker pagina kan worden afgelezen, dat volstaan kan worden met een element van 1,92 ton.

De massa van de stenen voor de onderliggende laag/ kern van de golfbreker zal  $1/10 \cdot 1920 \approx 200 \text{ kg}$  moeten bedragen. Ter voorkoming van doorzakken van de golfbreker zullen de stenen en ook de ACCROPODEN op een filterlaag geplaatst moeten worden. De dikte van deze laag bedraagt 0,5 à 1 m en is opgebouwd uit een geotextiellaag/ mat, afgezet met beton blokken. In figuur 6.2 is een dwarsdoorsnede van de golfbreker weergegeven.



figuur 6.2 Dwarsdoorsnede van golfbreker

7.1 Conclusies

- Sedert 1600 is er sprake van kustachteruitgang op Texel. Tot de eerste suppletie in 1979 was deze achteruitgang ongeveer 7m/jaar, daarna ongeveer 15m/jaar. De oorzaak voor deze sterke toename moet worden toegeschreven aan de suppleties van 1979 en 1984.
- Het benodigde zand (totaal, ook voor overige suppleties:  $9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ) is gewonnen in het Robbengat. Door deze onttrekking is het zeegat in morfologische zin te ruim geworden. De gevolgen van deze onttrekking uiten zich in een sterke erosie van het aanliggende kustvak Eierland.
- De erosie is het sterkst in de strook R.S.P.-lijn/ R.S.P.+ 400 m. Tot 1979 was er een zandverlies van  $-300 \cdot 10^3$ /jaar, na 1979  $-630 \cdot 10^3$ /jaar. In de strook R.S.P.+400 m/R.S.P. +1000 m zijn deze waarden resp.  $-130 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ /jaar en  $+90 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ /jaar.
- Reden voor deze sterke zand verliezen zijn:
  - het te steil gesuppleerde profiel.
  - kleine korreldiameter van suppletiezand.
  - te grote zandonttrekking van het Robbengat.
- Door de set up verschillen langs het kustvak treedt een extra gradiënt op in het langstransport. Afgeslagen zand wordt tijdens storm onmiddellijk afgevoerd.
- Door de aanleg van golfbrekers, met verschillende kruinhoogte, evenwijdig aan de kust, wordt de toename van het langstransport teniet gedaan.

7.2 Aanbevelingen

Om verdere kustachteruitgang op korte termijn tegen te gaan, is een zandsuppletie een prima oplossing. Het benodigde zand mag niet in het Robbengat worden gewonnen, maar ver buitengaats.

Dit om de volgende redenen:

- zandwinning niet van invloed op kustvak Eierland en Robbengat
- zand heeft een grotere korreldiameter (stabielere ligging).

Voor een meer permanentere kustverdediging is de oplossing van de golfbrekers evenwijdig aan de kust een goede oplossing, temeer daar de kosten van een zandsuppletie zoals boven omschreven aanmerkelijk duurder zal zijn dan de eerste twee uitgevoerde suppleties. Een verdere (gewenste) studie naar de financiële aspecten van golfbrekers contra zandsuppletie, zou wel eens in het voordeel van de golfbrekers kunnen uitvallen.

Het effect van deze 'harde' oplossing zou een afbraak van de Vliehors kunnen zijn. Gezien de grote hoeveelheden aanwezig zand zijn daar geen problemen te verwachten. Om terug te keren naar het evenwichts dwarsprofiel van het zeegat zijn grote hoeveelheden zand nodig. Omdat door de aanleg van de 'harde' constructie bij het kustvak geen zand meer beschikbaar is voor deze opvulling, zal het zand van de Vliehors worden 'aangesproken'.

Verder onderzoek dient zich te richten op:

- verzamelen van betere getijgegevens t.p.v. kustvak Eierland.
- betere simulatie van storm omstandigheden en resulterende waterbeweging.
- m.b.v. schaalmodellen kustlijn ontwikkeling simuleren.



## LITERATUURLIJST

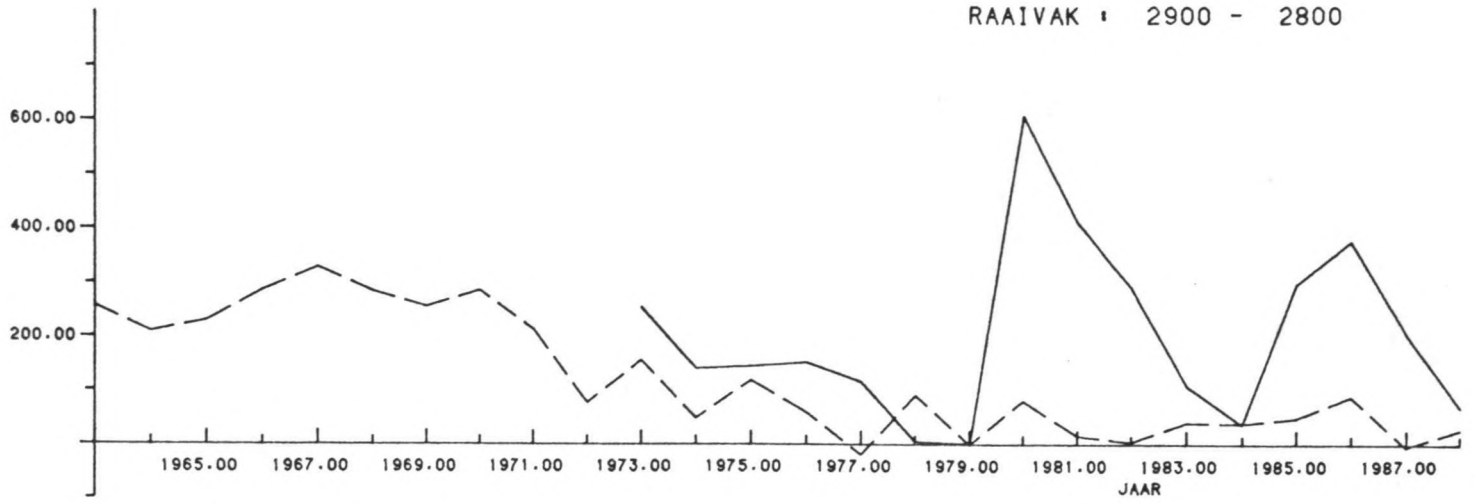
- Anoniem, 1977, *Discussiestuk Erosieprobleem Texel Eierland*, Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland, Studiedienst Hoorn.
- Anoniem, 1987, *Evaluatie strandsuppleties*.
- Bendegom, L van, 1950, *Enkele beschouwingen over de vorming en vervorming van wadden*.
- Dally, W.R., Pope, J., 1986, *Detached breakwaters for shore protection*.
- div. auteurs, 1988, *Handboek zandsuppleties*, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, uitgave Waltman.
- Elorche, M., 1982, *De kustontwikkeling van Texel*.
- Glim, G.W.; Kool, G.; Lieshout, M.F.; Boer, M. de, 1989, *Erosie en sedimentatie in de binnendelta van het Eierlandse Gat 1934-1982*.
- Rakhorst, H.D., 1989, *Evaluatie zandsuppletie Eyerland 1985*, Rijkswaterstaat Directie Noord- Holland, Nota 89.ANP.001.
- Rakhorst, H.D., 1989, *Kustverdediging Eyerland km 25 - km 31; een analyse*, Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland, Nota 89.ANP.004.
- Rakhorst, H.D., 1989, *De kust van Noord-Holland en Texel ontwikkeling en voorspelling. Beschrijving methode en resultaten Fase 2*, Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland.
- Ras, de; Bakker, W.T., 1971, *Onderzoek naar de grootte van het langstransport langs de kust bij IJmuiden door de combinatie van getijstroom en orbitaalbeweging*.
- Roskam, A.P., 1988, *Golfklimaten voor de Nederlandse kust*, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, Nota GWAO-88.046.
- R.W.S., 1988, *Jaarboek van afvoeren, waterstanden, golven en watertemperaturen 1986*.
- Stive, M.J.F., Eysink, W.D., 1989, *Voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990-2090, fase 3, deelrapport 3.1: dynamisch model van het Nederlandse kustsysteem*.
- Stive, M.J.F., 1989, *Kustvoorspelling (technisch rapport nr. 5)*, Rijkswaterstaat, Waterloopkundig Laboratorium, H 825.
- Stolk, A., 1989, *Zandsysteem kust (technisch rapport nr. 1)*, Rijksuniversiteit Utrecht, Rapport GEOPRO 1989.02.



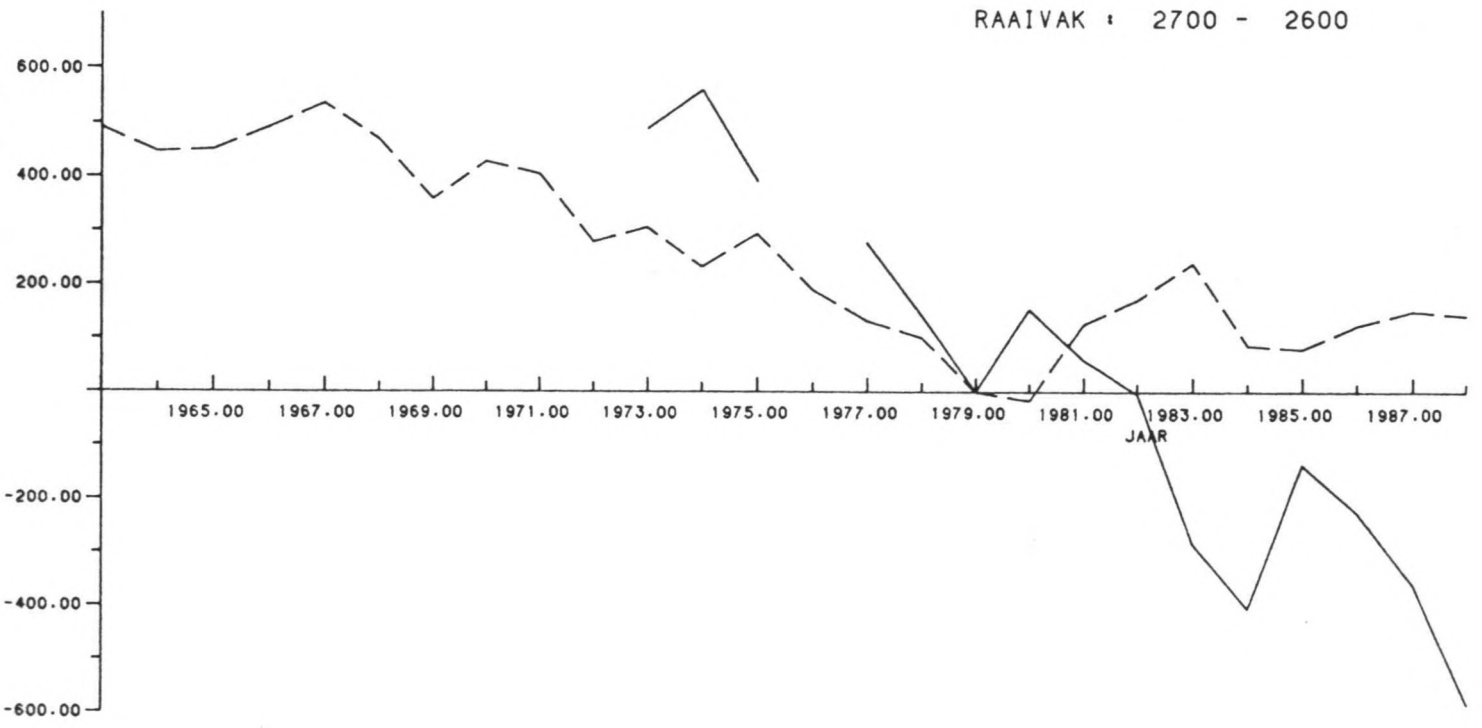
- Veen, J van, 1950, Eb-en vloodschaar systemen in de Nederlandse getijwateren, tijdschrift KNAG vol. 76(2).
- WL, 1979, Morfologie van de Waddenzee, gevolgen van zand- en schelpenwinning.
- WL, 1984, Duinafslag ten gevolge van de stormvloed op 1 en 2 februari 1983, toetsing van het rekenmodel DUROS voor de verwachting van duinafslag tijdens stormvloed.

BIJLAGEN

RAAIVAK : 2900 - 2800

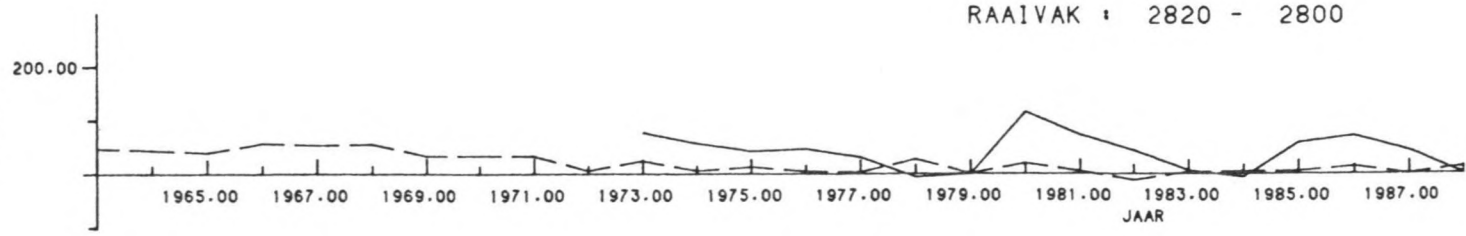
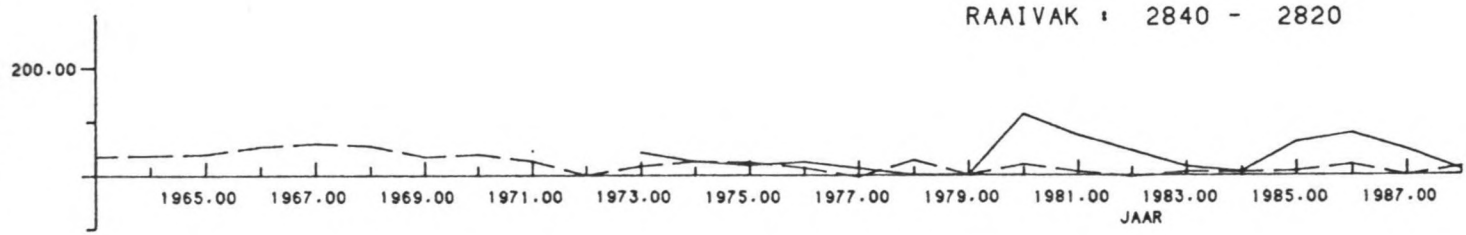
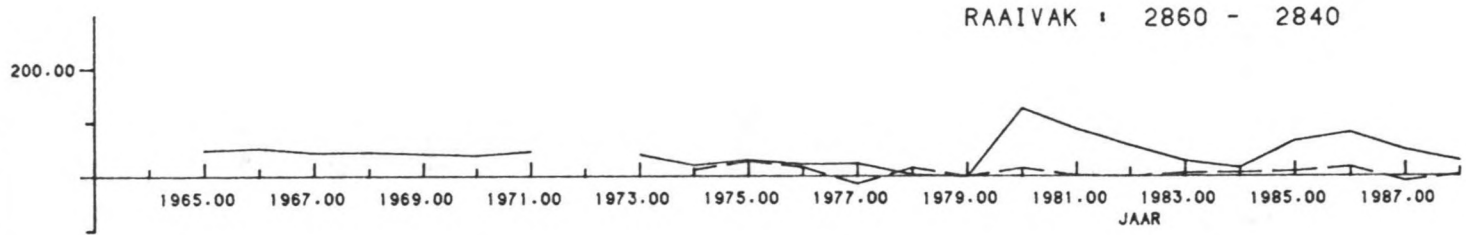
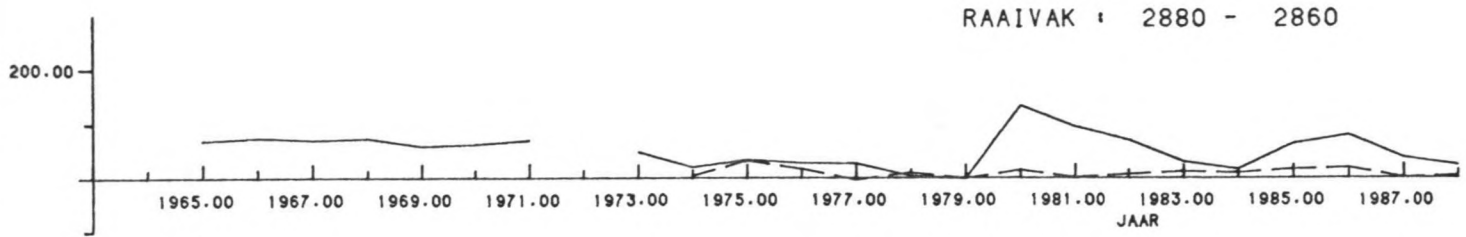
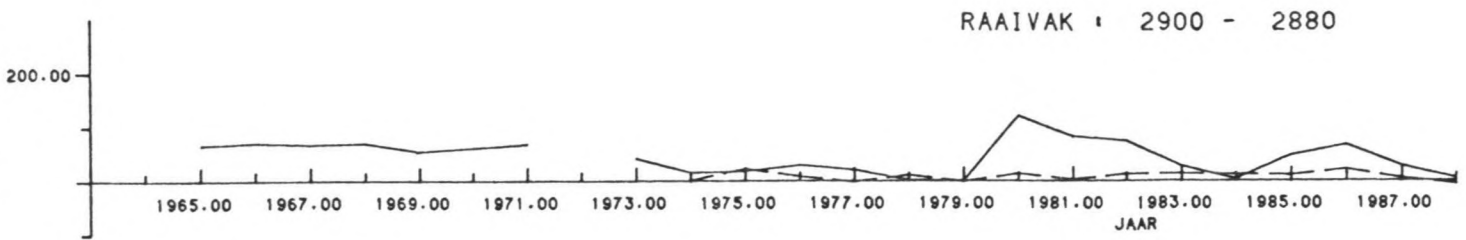


RAAIVAK : 2700 - 2600



— STROOK : 50 - 400  
 - - - STROOK : 400 - 1000

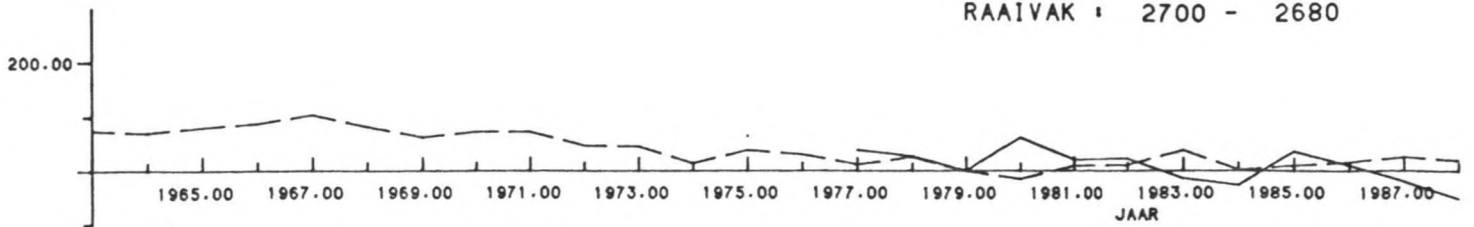
|   |             |
|---|-------------|
| RIJKSWATERSTAAT<br>DIENST GETIJDWATEREN AFDELING A.O.M. | PROJEKTKODE |
| TEXEL<br>JAARLIJKSE LODING<br>KUBERINGEN TOV. 1979      | BIJLAGE 1   |



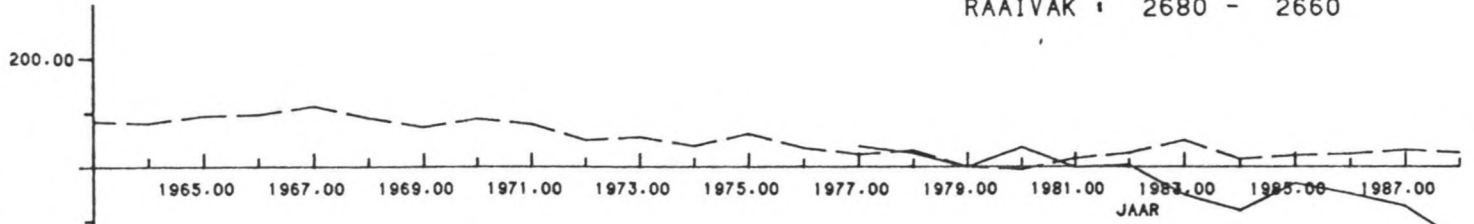
— STROOK : 50 - 400  
 - - - STROOK : 400 - 1000

|  |             |
|--|-------------|
| RIJKSWATERSTAAT<br>DIENST GETIJDEWATEREN AFDELING A.O.M. | PROJEKTCODE |
| TEXEL<br>JAARLIJKSE LODING<br>KUBERINGEN TOV. 1979       | BIJLAGE 2   |

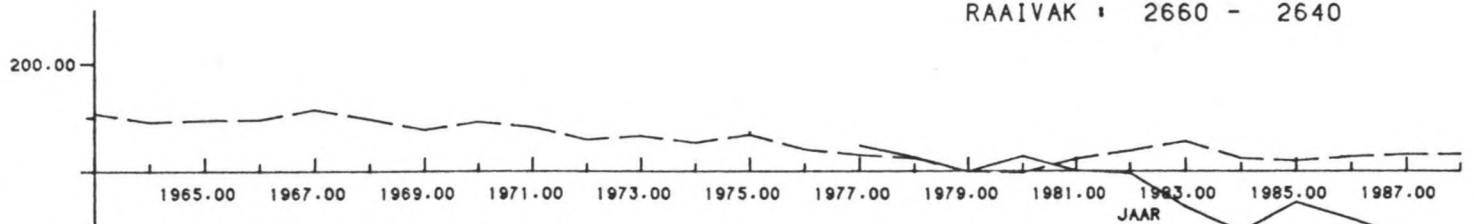
RAAIVAK : 2700 - 2680



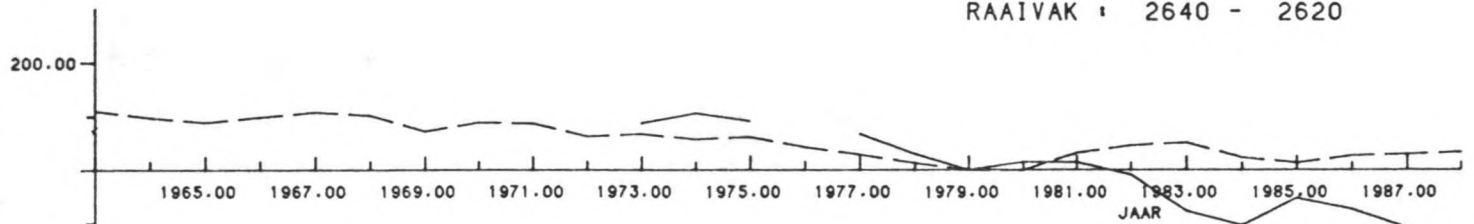
RAAIVAK : 2680 - 2660



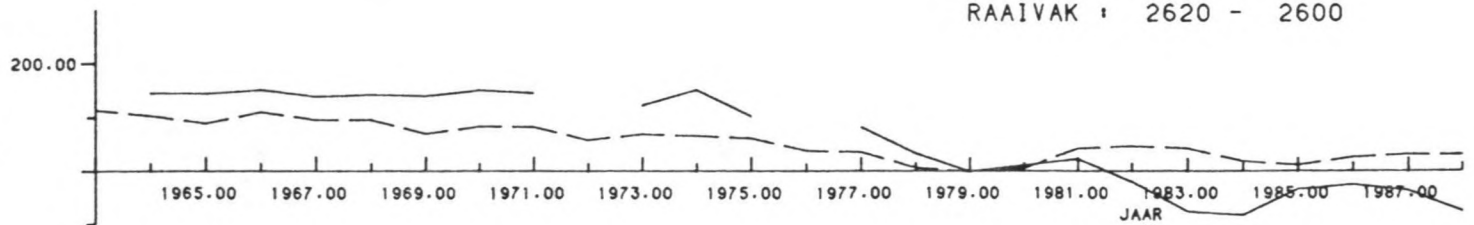
RAAIVAK : 2660 - 2640



RAAIVAK : 2640 - 2620

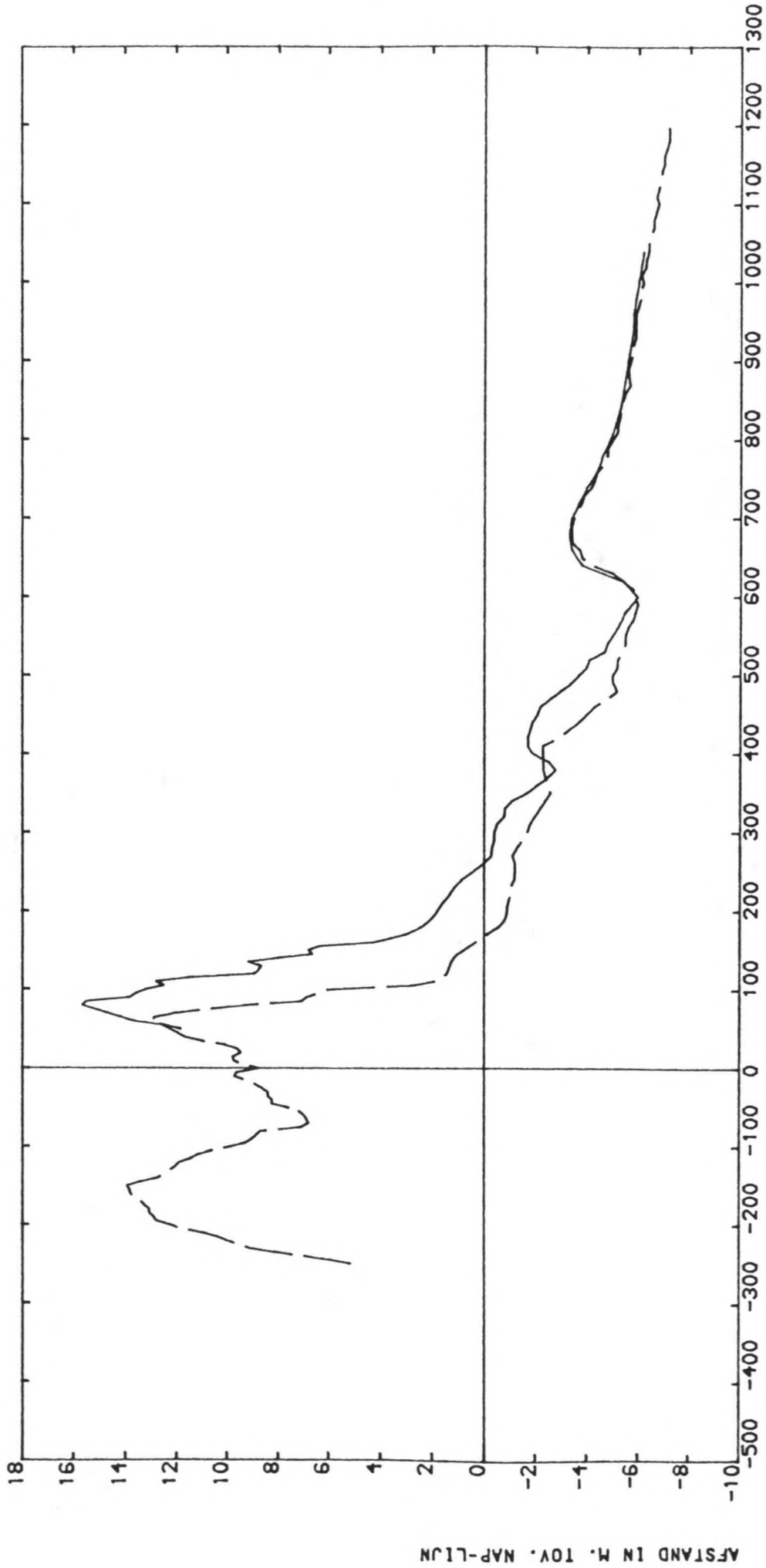


RAAIVAK : 2620 - 2600



— STROOK : 50 - 400  
- - - STROOK : 400 - 1000

|  |            |
|--|------------|
| RIKSWATERSTAAT<br>DIENST GETIJDWATEREN AFDELING A.O.M. | PROJEKTKOD |
| TEXEL<br>JAARLIJKSE LODING                             | BIJLAGE 3  |



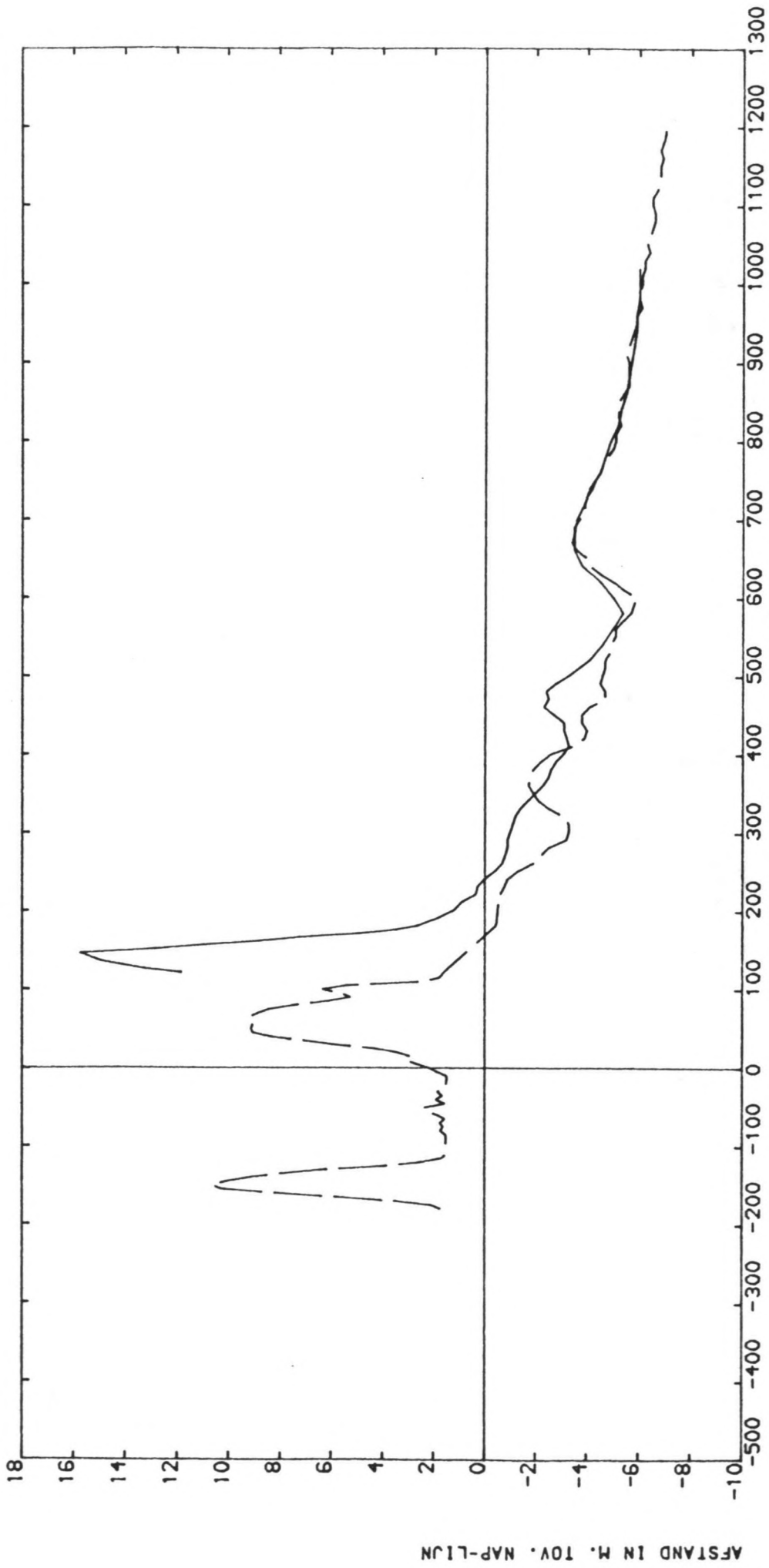
AFSTAND IN M. TOV. RSP-LIJN

TEXEL

DATUM 1970

DATUM 1988

|  |           |                |
|--|-----------|----------------|
| RIJKSWATERSTAAT<br>DIENST GETIJDWATEREN<br>AFD. WATERSYSTEMEN/NOORDZEE | project : | bijlage :<br>4 |
|  | datum :   | 900424         |
| KUSTVAK TEXEL<br>RMI 2600  |           |                |



AFSTAND IN M. TOV. RSP-LIJN

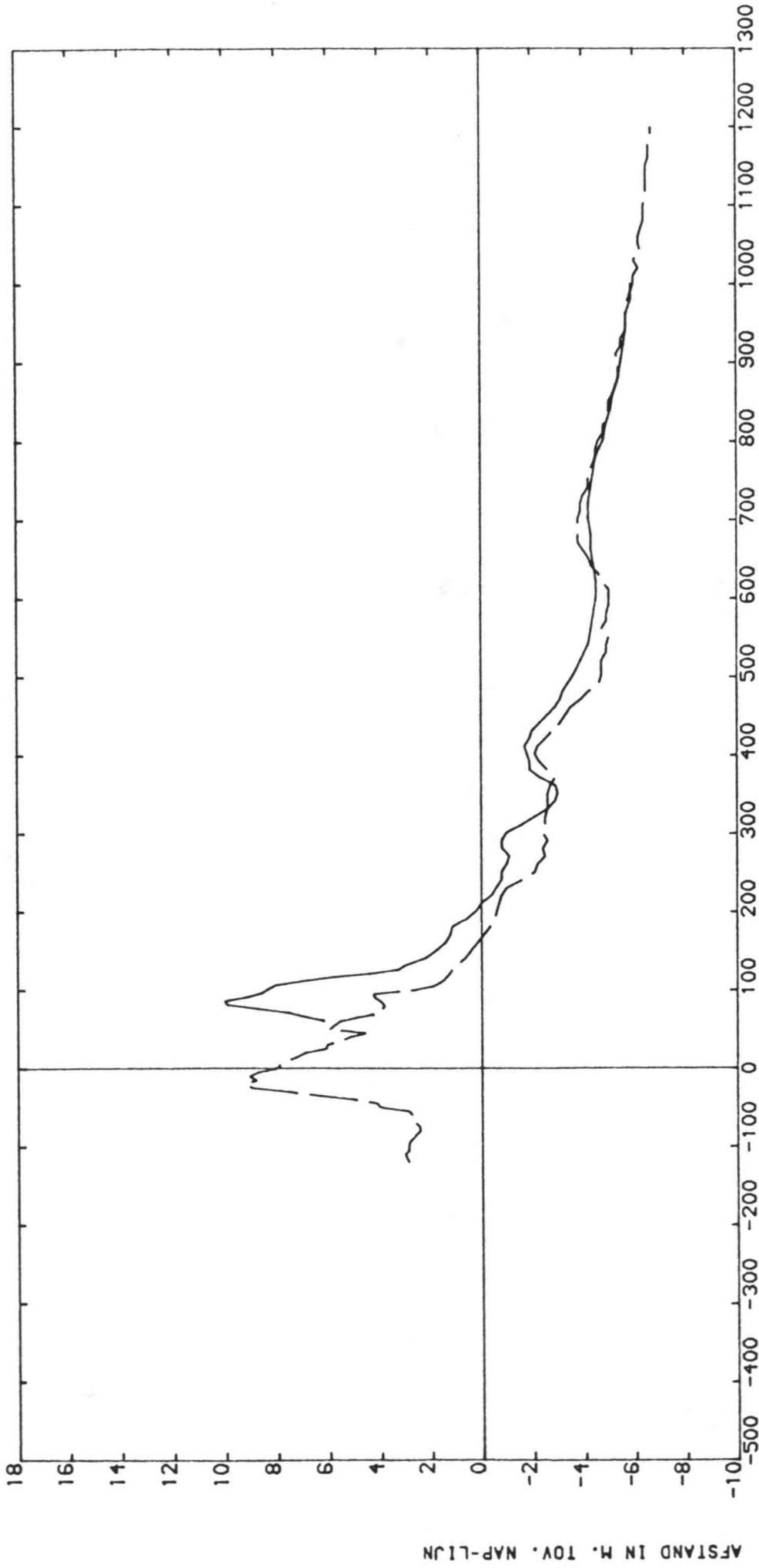
TEXEL

DATUM 1970 \_\_\_\_\_

DATUM 1988 \_\_\_\_\_

|  |           |                       |
|--|-----------|-----------------------|
| RIJKSWATERSTAAT<br>DIENST GETIJDWATEREN<br>AFD. WATERSYSTEMEN/NOORDZEE | project : | bijlage :<br><b>5</b> |
|  | datum :   | 900424                |
| KUSTVAK TEXEL<br>RAAI 2700   |           |                       |





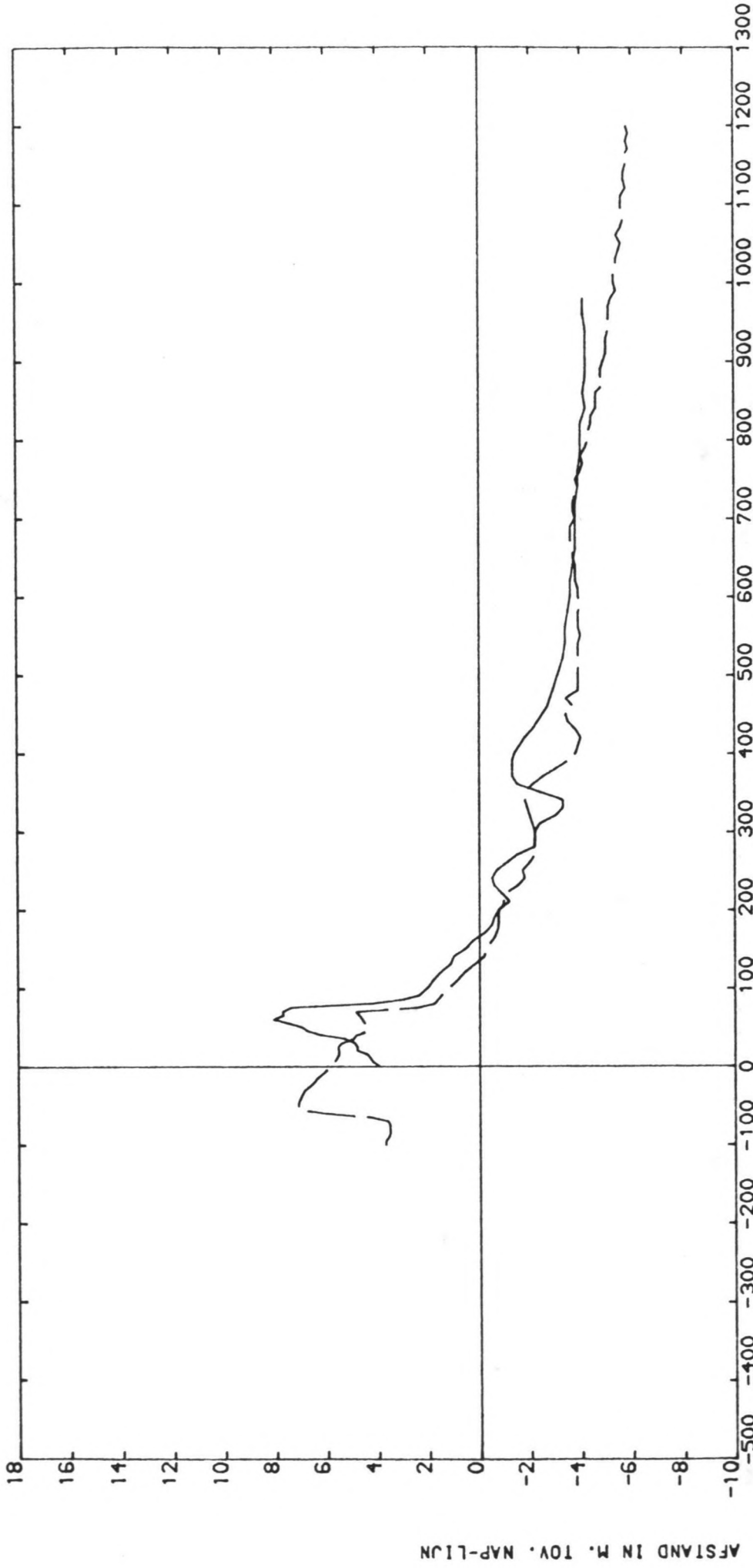
AFSTAND IN M. TOV. RSP-LIJN

## TEXEL

DATUM 1970

DATUM 1988

|  |           |                    |
|--|-----------|--------------------|
| RIJKSWATERSTAAT<br>DIENST GETIJDWATEREN<br>AFD. WATERSYSTEMEN/NOORDZEE | project : | bijlage : <b>6</b> |
|  | datum :   | 900424             |
| KUSTVAK TEXEL<br>RAAI 2800   |           |                    |



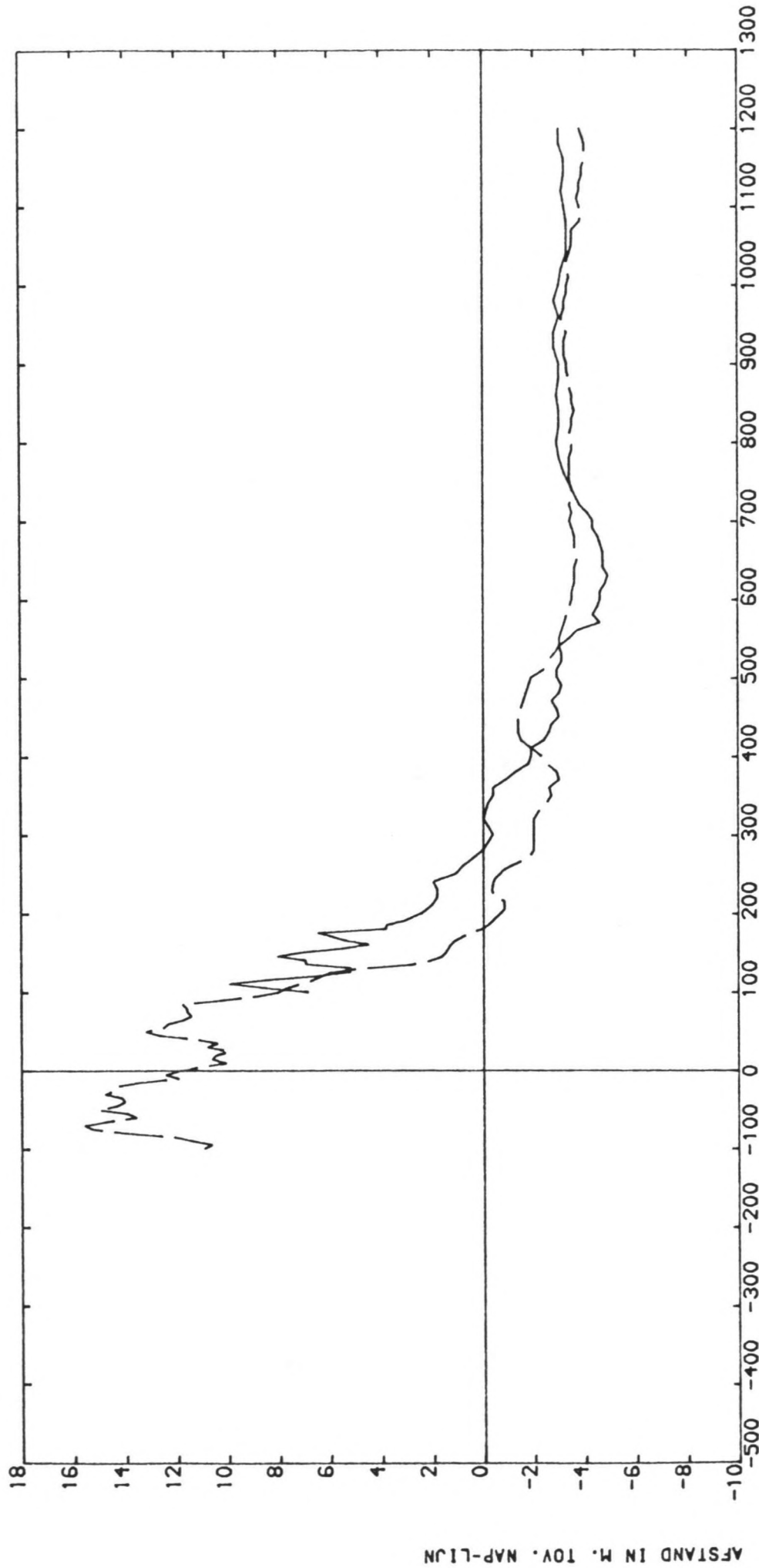
AFSTAND IN M. TOV. RSP-LIJN

### TEXEL

DATUM 1970

DATUM 1988

|  |           |                |
|--|-----------|----------------|
| RIJKSWATERSTAAT<br>DIENST GETIJDWATEREN<br>AFD. WATERSYSTEMEN/NOORDZEE | project : | bijlage :<br>7 |
|  | datum :   | 900424         |
| KUSTVAK TEXEL<br>RMI 2900  |           |                |



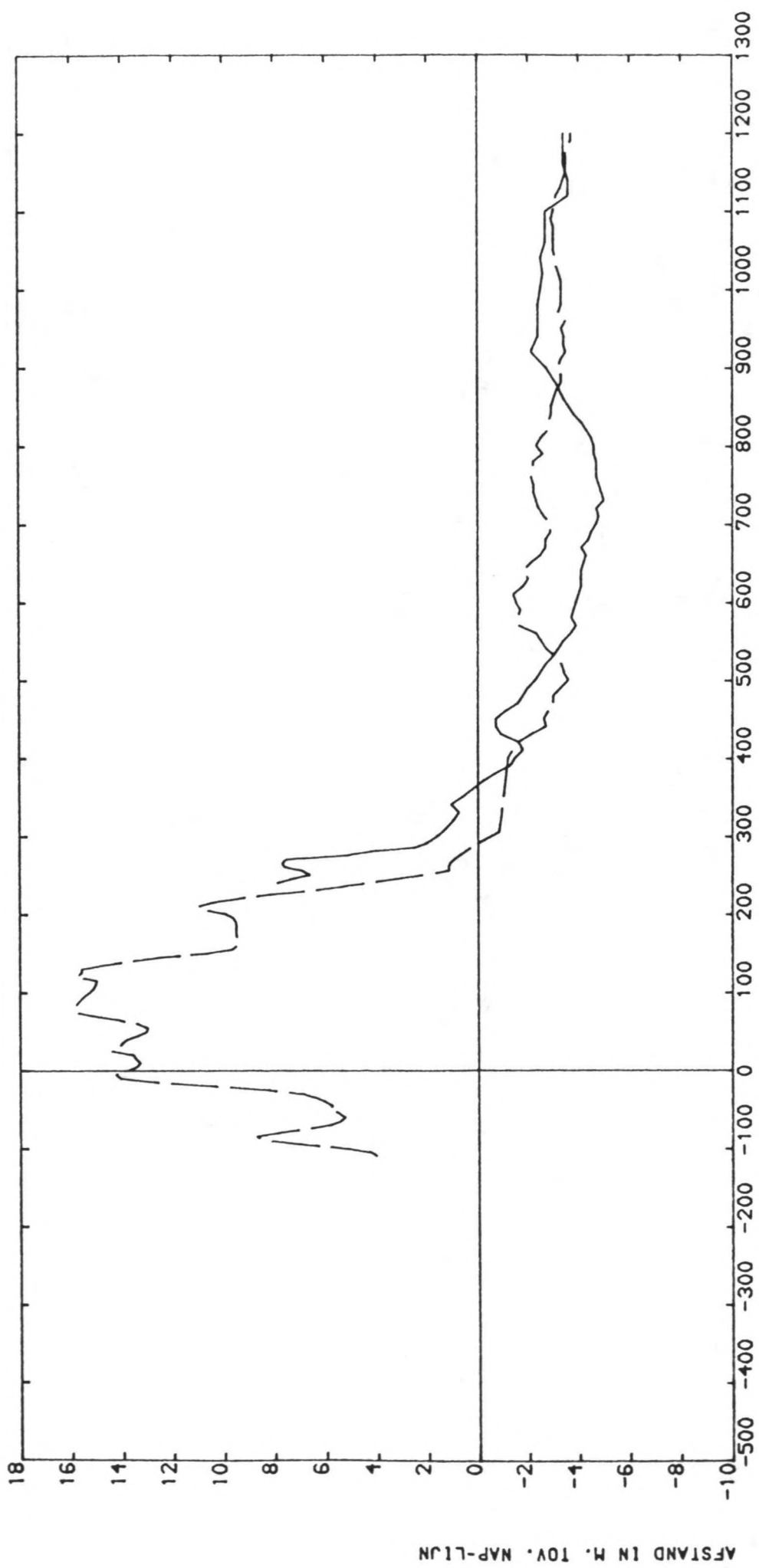
AFSTAND IN M. TOV. RSP-LIJN

### TEXEL

DATUM 1970

DATUM 1988

|  |           |                |
|--|-----------|----------------|
| RIJKSWATERSTAAT<br>DIENST GETIJDWATEREN<br>AFD. WATERSYSTEMEN/NOORDZEE | project : | bijlage :<br>8 |
|  | datum :   | 900424         |
| KUSTVAK TEXEL<br>RAAI 3001   |           |                |



AFSTAND IN M. TOV. RSP-LIJN

TEXEL

|  |           |             |
|--|-----------|-------------|
| RIJKSWATERSTAAT<br>DIENST GETIJDWATEREN<br>AFD. WATERSYSTEMEN/NOORDZEE | project : | bijlage : 9 |
|  | datum :   | 900424      |
| KUSTVAK TEXEL<br>RAAI 3100   |           |             |

DATUM 1970

DATUM 1988

## Bijlage 10

De invoer bestaat uit de volgende parameters:

- kustvaknummer (1)
- aantal opname jaren (2)
- opname jaren (3, 4, 5)
- aantal raaien (6)
- raainummers (7, 8, 9, 10)
- wel (=1) of geen (=2) inhoudsberekeningen, hellingen, dieptelijnen en duinvoetligging (11)
- bij inhoudsberekeningen:
  - referentieniveau (12)
  - aantal stroken (13)
  - begin afstand eind afstand (14, 15)
- bij berekening hellingen
  - meest landwaartse (=0) of meest zeewaartse (=1) lijn als begrenzing (16)
  - aantal hellingen (16)
  - begin waarde is x (=0) of y (=1) waarde (17)
  - x (=0) of y (=1) waarde begin helling (17)
  - eind waarde is x (=1) of y (=0) waarde (18)
  - x (=0) of y (=1) waarde eind helling (18)
- bij berekening dieptelijnen
  - meest landwaartse (=0) of meest zeewaartse (=1) dieptelijn (19)
  - aantal dieptelijnen (19)
  - dieptelijn(en) (20)
- referentiejaar (21)
- aantal raaivakken (22)
- begin raaivak (23/27)
- eind raaivak (23/27)
- aantal perioden (28)
- begin jaar periode (29)
- eind jaar periode (29)
- schaal (30)
- x0-coördinaat (31)
- y0-coördinaat (31)
- aantal cm verschuiving x0 t.o.v. nulpunt tekening (31)
- aantal cm verschuiving y0 t.o.v. nulpunt tekening (31)

- hoek tekening met noorden (31)
- keuze tekening kuberingen (32)
- wel of geen tekening van duinvoetligging (33)
- wel of geen tekening van de hellingen (35)

en verder nog een aantal parameters indien er (extra) tekeningen worden gemaakt (36 en verder)

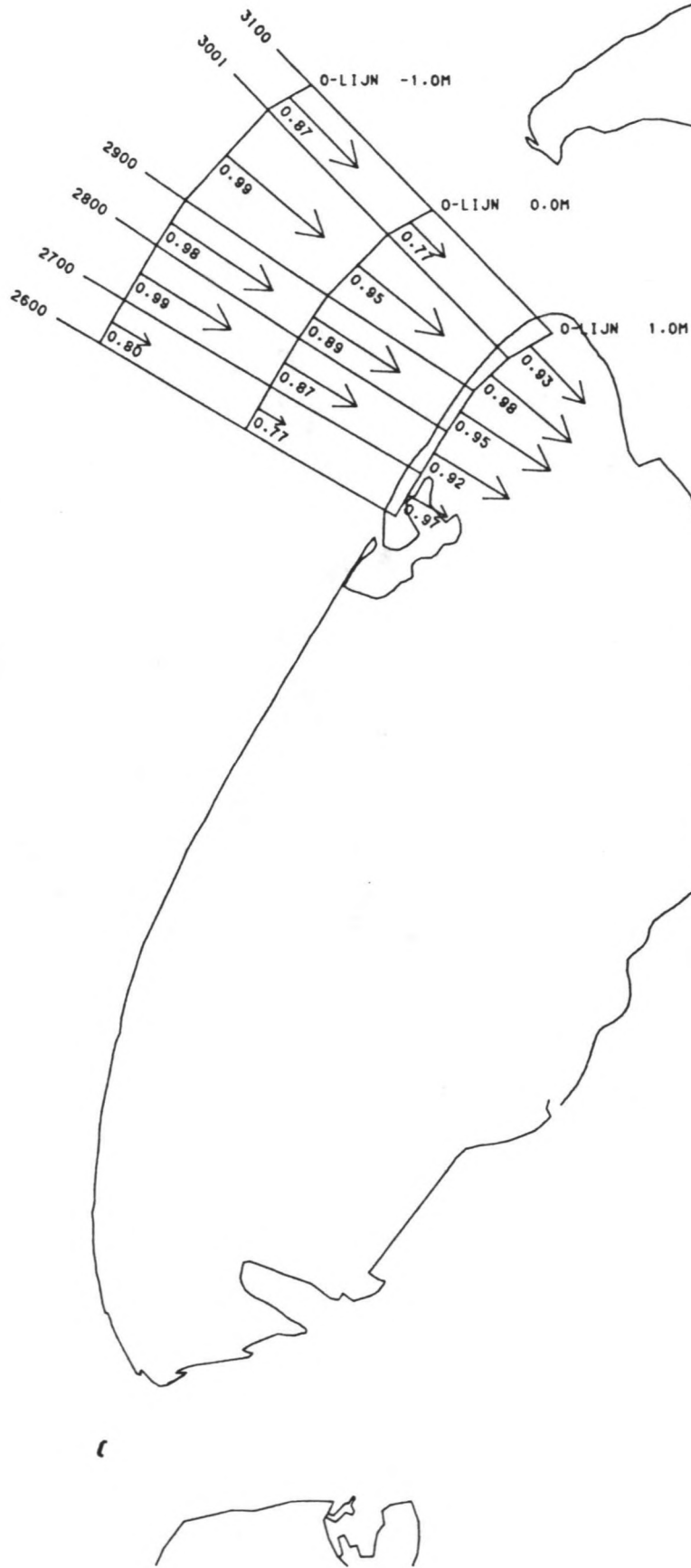
Bijlage 11

voorbeeld invoergegevens

```

1:6
2:26
3:1963 1964 1965 1966 1967 1968 1969 1970 1971 1972
4:1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982
5:1983 1984 1985 1986 1987 1988
6:38
7:3101 3100 3081 3061 3041 3021 3001 2977 2957 2937
8:2917 2901 2900 2880 2860 2840 2820 2800 2780 2760
9:2740 2720 2700 2680 2660 2640 2620 2600 2580 2560
10:2540 2520 2500 2480 2460 2440 2420 2400
11:1 1 1 1
12:-10
13:2
14:0 400
15:400 1000
16:0 2
17:0 2.0 0 -1.0
18:0 -1.0 0 -3.0
19:0 4
20:1.0 .0 -1.0 -3.0
21:1979
22:5
23:3100 3001
24:3001 2900
25:2900 2800
26:2800 2700
27:2700 2600
28:1
29:1970 1979
30:1000.
31:117227. 575259. 16.7 28.3 -2.
32:4 0 0
33:2
34:1 2
35:1
36:1
37:2
38:1 2

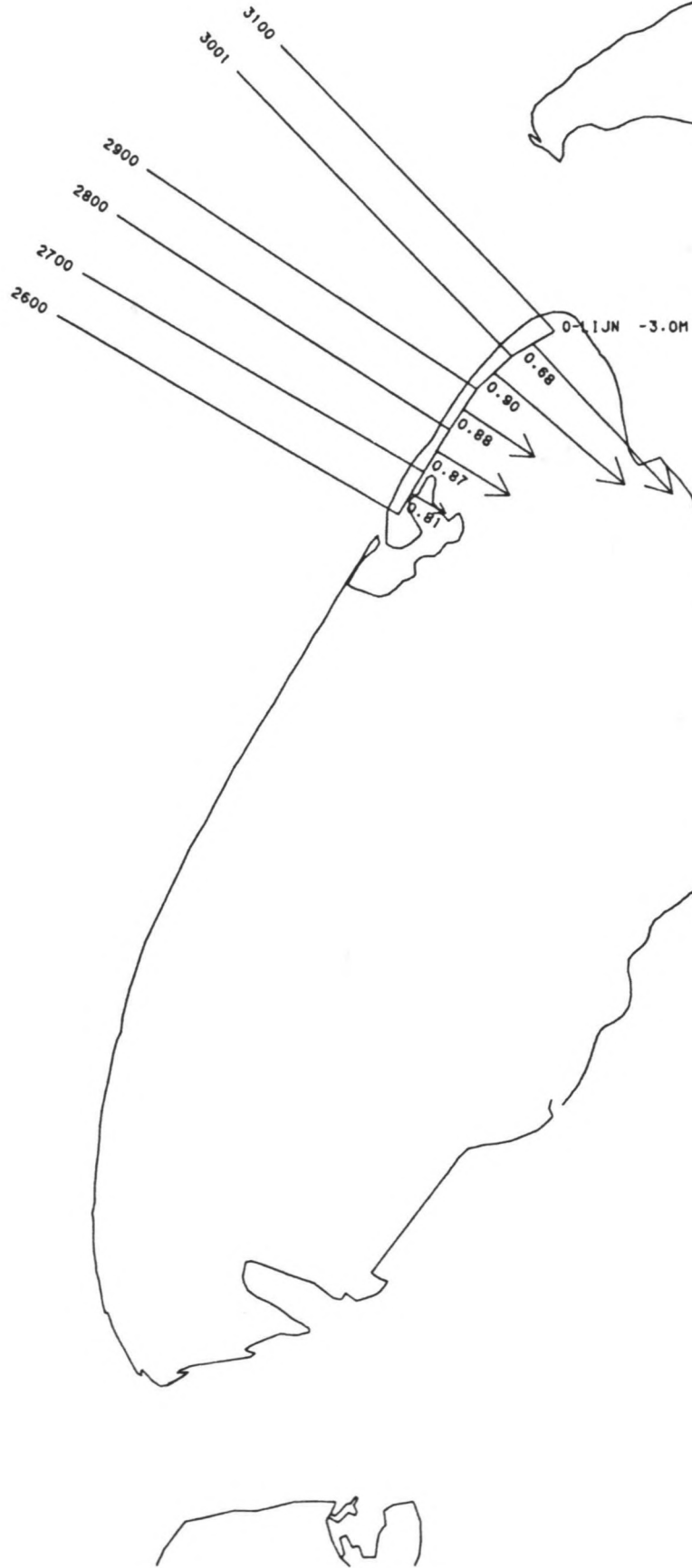
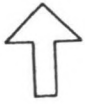
```



TREND DIEPTELIJN → 10 M/J  
CORRELATIE  
PERIODE 1980 - 1984  
REFERENTIE-JAAR: 1980  
SCHAAL R.S.P.-LIJN: 1.00 KM

|  |                   |
|--|-------------------|
| RIJKSWATERSTAAT<br>DIENST GETIJDEWATEREN AFDELING AOME | PROJECTCODE       |
| TEXEL<br>JAARLIJKSE LODINGEN                           | BIJLAGE <b>12</b> |

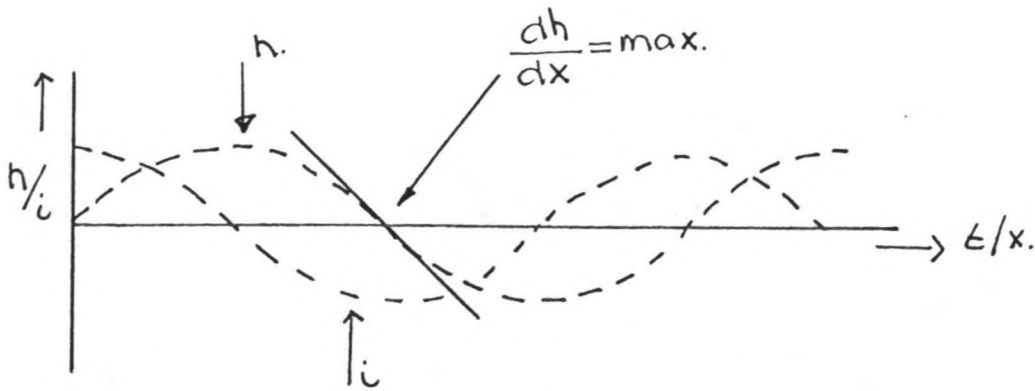




TREND DIEPTELIJN → 10 M/J  
CORRELATIE  
PERIODE 1980 - 1984  
REFERENTIE-JAAR: 1980  
SCHAAL R.S.P.-LIJN: 1.00 KM

|  |                   |
|--|-------------------|
| RIJKSWATERSTAAT<br>DIENST GETIJDEWATEREN AFDELING AOME | PROJECTCODE       |
| TEXEL<br>JAARLIJKSE LODINGEN                           | BIJLAGE <b>13</b> |

# Handberekening getij.



$$\frac{dh}{dx} = i$$

golflengte getij  
getij amplitude

$$\lambda : 500 \text{ km.}$$

$$: 1.30 \text{ m.}^{-4}$$

$$\omega : 1.405 \cdot 10^{-4} \text{ rad/s.}$$

Maximaal verhang:

$$i_{\max} = \hat{i} = \frac{1.30}{125 \cdot 10^3} = 1.04 \cdot 10^{-5}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\hat{v}_s = \frac{g \cdot i}{\omega} = \frac{9.81 \cdot 1.04 \cdot 10^{-5}}{1.405 \cdot 10^{-4}} \approx 0.73 \text{ m/s.}$$

$\hat{v}_s$  = snelheidsamplitude als de diepte oneindig zou zijn.

verder gerekend met  $\hat{v}_s = 0.70 \text{ m/s.}$   
aannamē :  $r = 0.05 \text{ m.}$

$$- \quad h = 5 \text{ m.}$$

$$f = \frac{8 \cdot 9.81}{\left(18 \log \left(\frac{12 \cdot h}{0.05}\right)\right)^2} = 0.0255$$

$$h^* = \frac{5}{h_{\text{ref}} f} \longrightarrow h_{\text{ref}} = \frac{f \cdot \hat{v}_s}{3\pi \omega} = 13.5$$

$$h^* = 0.37$$

$$\frac{\hat{v}_{h=5}}{\hat{v}_s} = h^* \left( -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{4}{h^{*2}} \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.5549$$

$$\hat{v}_{h=5} = 0.39 \text{ m/s.}$$

—  $h = 10 \text{ m.}$

$$f = \frac{8 \times 9.81}{\left(18 \log \left(\frac{12 \times 10}{0.05}\right)\right)^2} = 0.0212.$$

$$h_{\text{ref}} = 11.21$$

$$h^* = \frac{10}{11.21} = 0.892$$

$$\frac{\hat{V}_{h=10}}{\hat{V}_{\infty}} = h^* \left(-\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4}{h^{*2}}\right)^{\frac{1}{2}}\right)^{\frac{1}{2}} = 0.761$$

$$\hat{V}_{h=10} = 0.53 \text{ m/s.}$$

—  $h = 15 \text{ m.}$

$$f = \frac{8 \times 9.81}{\left(18 \log \left(\frac{12 \times 15}{0.05}\right)\right)^2} = 0.0192$$

$$h_{\text{ref}} = 10.12$$

$$h^* = \frac{15}{10.12} = 1.48$$

$$\frac{\hat{V}_{h=15}}{\hat{V}_{\infty}} = 1.48 \left(-\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4}{h^{*2}}\right)^{\frac{1}{2}}\right)^{\frac{1}{2}} = 0.864$$

$$\hat{V}_{h=15} = 0.60 \text{ m/s.}$$

—  $h = 20 \text{ m.}$

$$f = \frac{8 \times 9.81}{\left(18 \log \left(\frac{12 \times 20}{0.05}\right)\right)^2} = 0.0178$$

$$h_{\text{ref}} = 9.45$$

$$h^* = \frac{20}{9.45} = 2.116$$

$$\hat{V}_{h=20} = 0.64 \text{ m/s.}$$

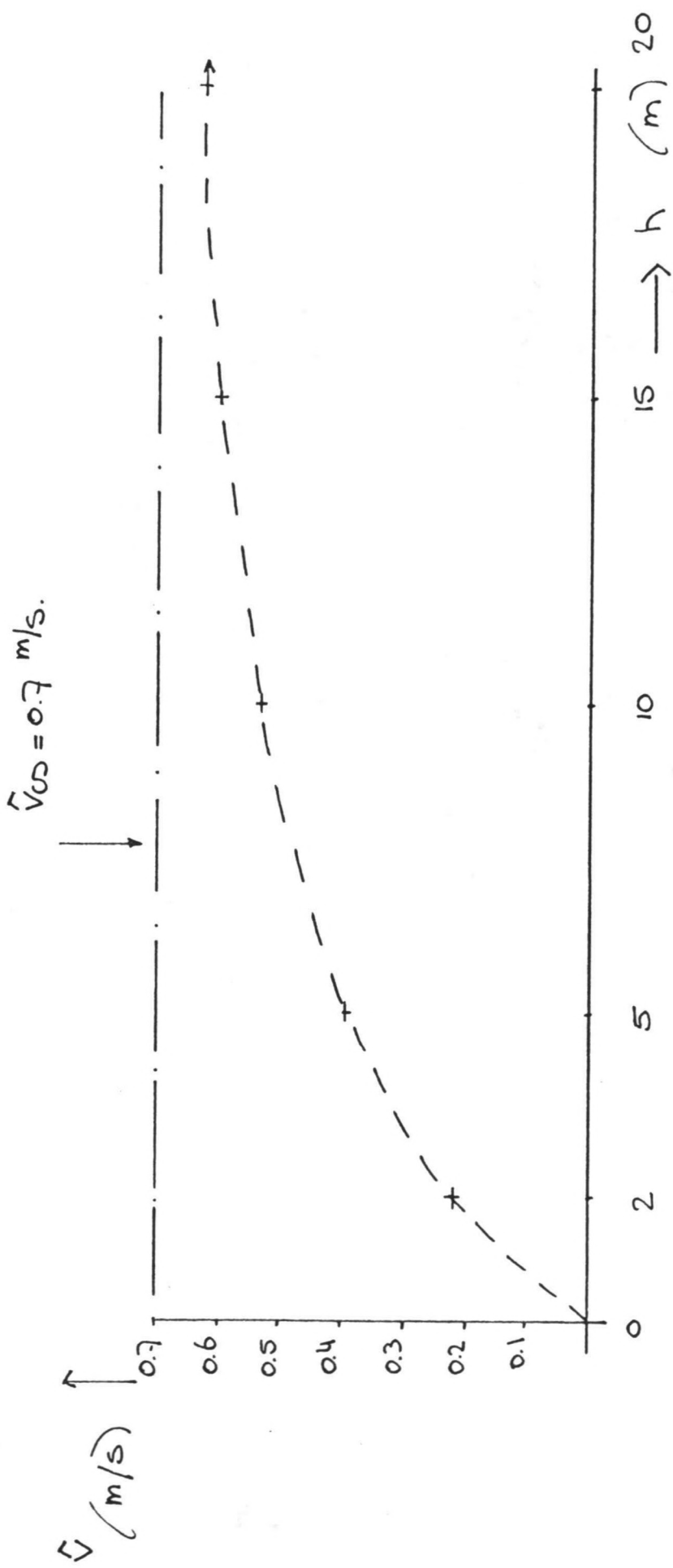
—  $h = 2 \text{ m.}$

$$f = 0.0337$$

$$h_{\text{ref}} = 17.81$$

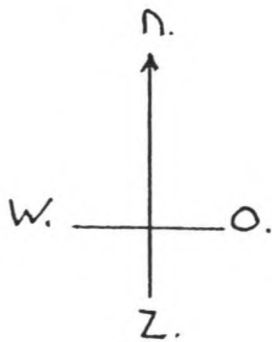
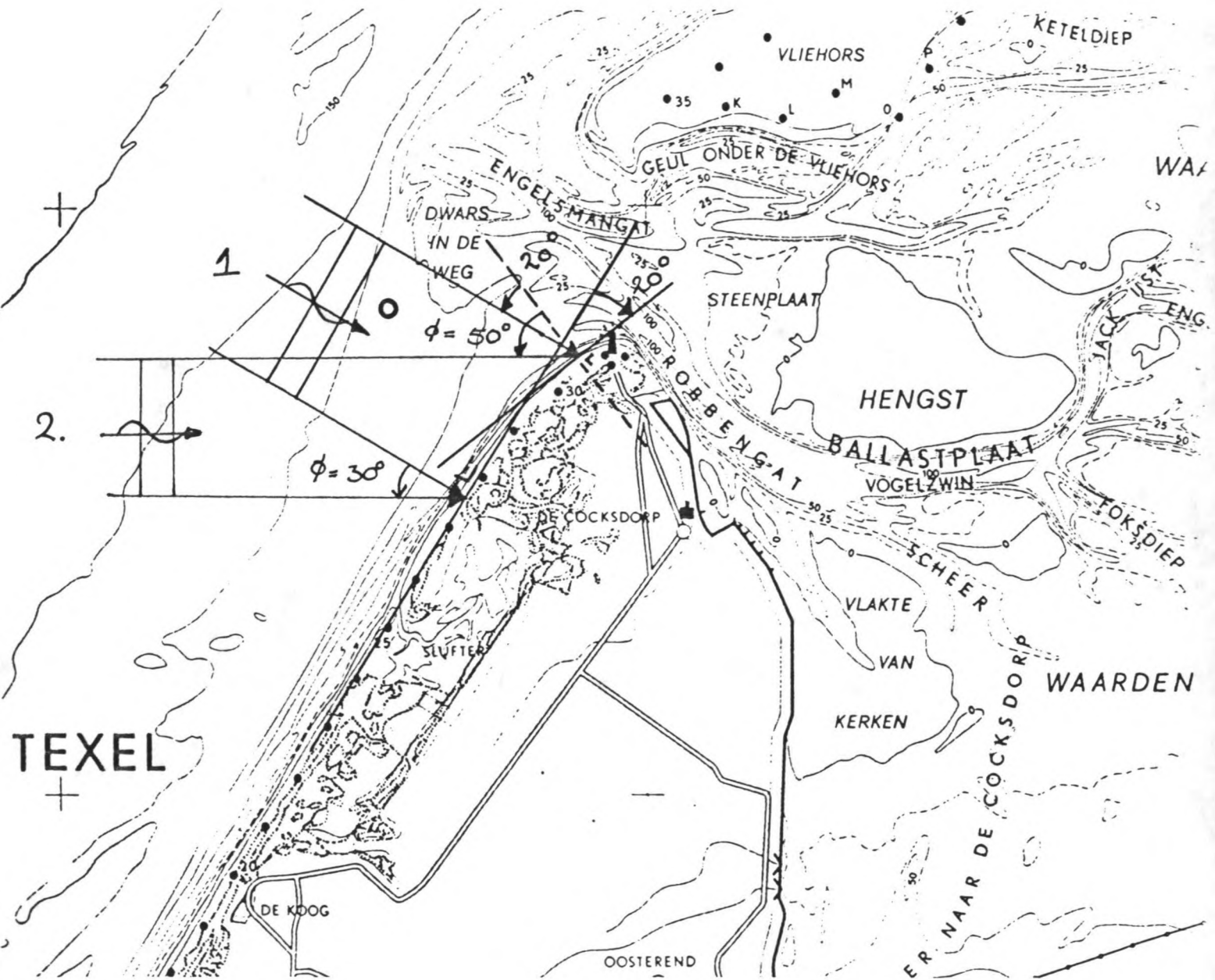
$$h^* = 0.1123$$

$$\hat{V}_{h=2} = 0.33 \times 0.70 = 0.23 \text{ m/s.}$$



getij stroom uitgezet tegen water diepte.

Handberekening van brandingsstroom  
en stroming t.g.v. set up verschillen  
langs kustvak Eyerland.



Algemeen :  $h_0 = 1\frac{1}{2} \text{ m}$      $T = 5,6 \text{ s}$

$$\omega = \frac{2\pi}{5,6} = 1,122$$

$$\lambda_0 = 49 \text{ m} \quad , \quad r = 0,05 \text{ m}$$

raai 26.00/27.00/28.00 :  $m = 1/150$

$$\zeta_0 = \frac{1/150}{(1\frac{1}{2}/49)^{1/2}} = 0,038 \quad \gamma = 0,65.$$

raai 29.00/30.01/31.00 :  $m = 1/270$ .

$$\zeta_0 = \frac{1/270}{(1\frac{1}{2}/49)^{1/2}} = 0,021 \quad \gamma = 0,6.$$

Situatie 1    a = raai 26.00/27.00/28.00 :  $\phi_0 = 0^\circ$   
                   b = raai 29.00/30.01/31.00 :  $\phi_0 = 20^\circ$

brandingsstroom :

a = 0 m/s.

b : stel :  $h_{br} = 2\frac{1}{2} \text{ m}$  ( $h_{br,max} = 1,5 \text{ m}$ )

$$\frac{h}{\lambda_0} = \frac{2\frac{1}{2}}{49} = 0,051$$

$$\left. \begin{array}{l} K_r = 0,97777 \\ K_s = 1,019 \end{array} \right\} h_{br} = 1,49 \text{ m}$$

$$a_0 = \frac{h}{2} \cdot \frac{1}{\sinh kh}$$

$$= \frac{1,49}{2} \cdot \frac{1}{6344} = 1,17 \text{ m}$$

$$f_w = 0,0428 \quad , \quad \sqrt{f_w} = 0,207 \quad , \quad C = 18 \log \left( \frac{12 \times 2\frac{1}{2}}{0,05} \right) = 50 \frac{\sqrt{m}}{s}$$

$$v = 1,388 \cdot \frac{\sin 20^\circ}{8,74} \cdot \frac{50}{0,207} \cdot 0,6 \cdot 2\frac{1}{2} \cdot \sqrt{81} \cdot \frac{1}{270}$$

$$= 0,23 \text{ m/s} \quad \left( 20\% : 0,18 \text{ m/s} \right)^*$$

set-up : a:  $h_{br} = 2,4 \text{ m}$  ( $h_{br,max} = 1,56 \text{ m}$ )

$$\frac{2,4}{49} = 0,049$$

$$\left. \begin{array}{l} K_r = 1 \\ K_s = 1,026 \end{array} \right\} h_{br} = 1,54 \text{ m}$$

$$5/16 \cdot 0,65 \cdot 1,54 = 0,31 \text{ m}$$

$$b \quad 5/16 \cdot 0,6 \cdot 1,49 = 0,28 \text{ m}$$

$$\text{set up verschil} = 0,033 \text{ m}$$

$$i = \frac{0,033}{4000} = 8,25 \cdot 10^{-6}$$

$$h = 2,45 \text{ m.}$$

$$C = 18 \log \left( \frac{12 \cdot 2,45}{0,05} \right) \\ = 50 \text{ m/s.}$$

$$v = 0,22 \text{ m/s.}$$

Situatie 2

$$a : \phi_0 = 30^\circ$$

$$b : \phi_0 = 50^\circ$$

brandingsstroom a.

$$h_{br} = 2,27 \text{ m}$$

$$H_{br} = 1,47 \text{ m}$$

$$a_0 = \frac{1,47}{2} \cdot \frac{1}{0,5954} = 1,23$$

$$\sqrt{f_w} = 0,204, \quad C = 4g \sqrt{m/s.}$$

$$v = 1,388 \cdot \frac{112}{8,74} \cdot \frac{4g}{0,21} \cdot 0,6 \cdot \sqrt{0,81} \cdot 2,2 \cdot 1,270 \\ = 0,43 \text{ m/s.}$$

$$/ 80\% : 0,35 \text{ m/s}^*$$

set up

$$a : 5/16 \cdot 0,65 \cdot 1,47 = 0,30 \text{ m}$$

$$b : 5/16 \cdot 0,6 \cdot 1,31 = 0,25 \text{ m}$$

verschil in set-up : 0,053 m.

$$i = \frac{0,053}{4000} = 1,32 \cdot 10^{-5}$$

$$h = 2,2$$

$$C = 4g \sqrt{m/s}$$

$$v = C \sqrt{hi}$$

$$= 0,26 \text{ m/s.}$$

brandingsstroom b

$$h_{br} = 2,2 \text{ m.}$$

$$H_{br. max.} = 1,31 \text{ m.}$$

$$a_0 = 1,115 \text{ m}, \quad \sqrt{f_w} = 0,21, \quad C = 4g \sqrt{m/s.}^*$$

$$v = 0,43 \text{ m/s} \quad / 80\% : 0,35 \text{ m/s}^*$$

\* ) 80% : aanname als gemiddelde stroomsnelheid in brandingszone.



STATION : EIERLAND 3-JUURLIJKSE REEKSEN 1-1-1979 T/M 31-12-1986

RELATIEVE VERDELING

GOLFRICHTINGSSECTOR : 330 - 360 GOLFRICHTING : THETA-R + 10 GR.

HMD IN KLASSEN VAN 50 CM (VERT.) EN TMD1 IN KLASSEN VAN 2.0 SEC (HOR.)

|           | <1.0 | 1.0-3.0 | 3.0-5.0 | 5.0-7.0 | 7.0-9.0 | >9.0   | ALLE    | YGEM  | CUM.    |
|-----------|------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|-------|---------|
| 0 - 50    | .000 | .000    | 9.639   | 1.928   | .000    | .000   | 11.567  | 4.33  | 100.000 |
| 50 - 100  | .000 | .000    | 14.241  | 8.022   | .249    | .062   | 22.575  | 4.77  | 88.433  |
| 100 - 150 | .000 | .000    | 9.764   | 15.423  | .062    | .000   | 25.249  | 5.23  | 65.858  |
| 150 - 200 | .000 | .000    | 1.555   | 15.107  | .124    | .000   | 17.786  | 5.84  | 40.609  |
| 200 - 250 | .000 | .000    | .000    | 11.194  | .373    | .000   | 11.567  | 6.05  | 22.823  |
| 250 - 300 | .000 | .000    | .000    | 5.286   | .622    | .000   | 5.903   | 6.21  | 11.256  |
| 300 - 350 | .000 | .000    | .000    | 1.928   | .933    | .000   | 2.861   | 6.65  | 5.348   |
| 350 - 400 | .000 | .000    | .000    | .311    | .871    | .000   | 1.182   | 7.47  | 2.488   |
| 400 - 450 | .000 | .000    | .000    | .000    | .808    | .000   | .808    | 8.00  | 1.306   |
| 450 - 500 | .000 | .000    | .000    | .000    | .187    | .000   | .187    | 8.00  | .498    |
| 500 - 550 | .000 | .000    | .000    | .000    | .124    | .000   | .124    | 8.00  | .311    |
| 550 - 600 | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .124   | .124    | 10.00 | .187    |
| 600 - 650 | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .062   | .062    | 10.00 | .062    |
| 650 - 700 | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .000   | .000    | .00   | .000    |
| 700 - 750 | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .000   | .000    | .00   | .000    |
| >750      | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .000   | .000    | .00   | .000    |
| ALLE      | .000 | .000    | 35.199  | 60.199  | 4.353   | .249   | 100.000 | 5.39  | 100.000 |
| XGEM      | .00  | .00     | 79.59   | 157.98  | 328.57  | 462.50 | 144.59  |       |         |

STATION : EIERLAND 3-UURLIJKE REEKSEN 1-1-1979 T/M 31-12-1986

RELATIEVE VERDELING

GOLFRICHTINGSSECTOR : 300 - 330 GOLFRICHTING : THETA-R + 10 GR.

HMO IN KLASSEN VAN 50 CM (VERT.) EN TMD1 IN KLASSEN VAN 2.0 SEC (HOR.)

|           | <1.0 | 1.0-3.0 | 3.0-5.0 | 5.0-7.0 | 7.0-9.0 | >9.0   | ALLE    | YGEM | CUM.    |
|-----------|------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|------|---------|
| 0 - 50    | .000 | .108    | 6.688   | 1.942   | .108    | .000   | 8.846   | 4.46 | 100.000 |
| 50 - 100  | .000 | .000    | 10.356  | 6.796   | .431    | .000   | 17.584  | 4.87 | 91.154  |
| 100 - 150 | .000 | .000    | 9.385   | 12.082  | .000    | .000   | 21.467  | 5.13 | 73.571  |
| 150 - 200 | .000 | .000    | 1.137   | 18.123  | .000    | .000   | 19.310  | 5.88 | 52.104  |
| 200 - 250 | .000 | .000    | .000    | 13.376  | .539    | .000   | 13.916  | 6.08 | 32.794  |
| 250 - 300 | .000 | .000    | .000    | 8.198   | 1.197   | .000   | 9.385   | 6.25 | 18.878  |
| 300 - 350 | .000 | .000    | .000    | 3.452   | 1.402   | .000   | 4.854   | 6.58 | 9.493   |
| 350 - 400 | .000 | .000    | .000    | .971    | .971    | .000   | 1.942   | 7.00 | 4.639   |
| 400 - 450 | .000 | .000    | .000    | .108    | 1.402   | .000   | 1.510   | 7.86 | 2.697   |
| 450 - 500 | .000 | .000    | .000    | .000    | .755    | .000   | .755    | 8.00 | 1.187   |
| 500 - 550 | .000 | .000    | .000    | .000    | .324    | .108   | .431    | 8.50 | .431    |
| 550 - 600 | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .000   | .000    | .00  | .000    |
| 600 - 650 | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .000   | .000    | .00  | .000    |
| 650 - 700 | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .000   | .000    | .00  | .000    |
| 700 - 750 | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .000   | .000    | .00  | .000    |
| >750      | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .000   | .000    | .00  | .000    |
| ALLE      | .000 | .108    | 27.616  | 65.049  | 7.120   | .108   | 100.000 | 5.59 | 100.000 |
| XGEM      | .00  | 25.00   | 34.18   | 185.03  | 340.91  | 525.00 | 168.47  |      |         |

STATION : EIERLAND 3-UURLIJKE REEKSEN 1-1-1979 T/M 31-12-1986

RELATIEVE VERDELING

GOLFRICHTINGSSECTOR : 270 - 300 GOLFRICHTING : THETA-R + 10 GR.  
 HMU IN KLASSEN VAN 50 CM (VERT.) EN TMO1 IN KLASSEN VAN 2.0 SEC (HOR.)

|           | <1.0 | 1.0-3.0 | 3.0-5.0 | 5.0-7.0 | 7.0-9.0 | >9.0 | ALLE    | YGEM | CUM.    |
|-----------|------|---------|---------|---------|---------|------|---------|------|---------|
| 0 - 50    | .000 | .129    | 5.137   | 1.292   | .000    | .000 | 7.558   | 4.31 | 100.000 |
| 50 - 100  | .000 | .065    | 14.341  | 5.297   | .388    | .000 | 20.090  | 4.60 | 92.442  |
| 100 - 150 | .000 | .000    | 10.465  | 10.013  | .194    | .000 | 20.672  | 5.01 | 72.351  |
| 150 - 200 | .000 | .000    | 2.196   | 15.762  | .258    | .000 | 18.217  | 5.79 | 51.630  |
| 200 - 250 | .000 | .000    | .000    | 12.597  | .129    | .000 | 12.726  | 6.02 | 33.463  |
| 250 - 300 | .000 | .000    | .000    | 8.010   | .323    | .000 | 3.333   | 6.08 | 20.736  |
| 300 - 350 | .000 | .000    | .000    | 5.039   | .323    | .000 | 5.362   | 6.12 | 12.403  |
| 350 - 400 | .000 | .000    | .000    | 1.873   | 1.034   | .000 | 2.907   | 6.71 | 7.041   |
| 400 - 450 | .000 | .000    | .000    | .065    | 2.003   | .000 | 2.067   | 7.94 | 4.134   |
| 450 - 500 | .000 | .000    | .000    | .000    | 1.098   | .000 | 1.098   | 8.00 | 2.067   |
| 500 - 550 | .000 | .000    | .000    | .000    | .711    | .000 | .711    | 8.00 | .969    |
| 550 - 600 | .000 | .000    | .000    | .000    | .258    | .000 | .258    | 8.00 | .258    |
| 600 - 650 | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .000 | .000    | .00  | .000    |
| 650 - 700 | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .000 | .000    | .00  | .000    |
| 700 - 750 | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .000 | .000    | .00  | .000    |
| >750      | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .000 | .000    | .00  | .000    |
| ALLE      | .000 | .194    | 33.140  | 59.943  | 5.718   | .000 | 100.000 | 5.45 | 100.000 |
| XGEM      | .00  | 41.67   | 88.16   | 197.53  | 387.50  | .00  | 173.77  |      |         |

STATION : EIERLAND 3-UURLIJKE REEKSEN 1-1-1979 T/M 31-12-1986

RELATIEVE VERDELING

GOLFRICHTINGSSECTOR : 240 - 270 GOLFRICHTING : THETA-R + 10 GR.  
 HMU IN KLASSEN VAN 50 CM (VERT.) EN TMO1 IN KLASSEN VAN 2.0 SEC (HOR.)

|           | <1.0 | 1.0-3.0 | 3.0-5.0 | 5.0-7.0 | 7.0-9.0 | >9.0   | ALLE    | YGEM | CUM.    |
|-----------|------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|------|---------|
| 0 - 50    | .000 | .206    | 7.193   | .874    | .051    | .000   | 8.329   | 4.19 | 100.000 |
| 50 - 100  | .000 | .051    | 19.332  | 5.861   | .463    | .000   | 25.707  | 4.52 | 91.671  |
| 100 - 150 | .000 | .000    | 14.653  | 9.717   | .000    | .000   | 24.370  | 4.80 | 65.964  |
| 150 - 200 | .000 | .000    | 4.936   | 13.213  | .103    | .000   | 18.252  | 5.47 | 41.594  |
| 200 - 250 | .000 | .000    | .154    | 11.414  | .000    | .051   | 11.620  | 5.99 | 23.342  |
| 250 - 300 | .000 | .000    | .000    | 5.838   | .051    | .000   | 5.889   | 6.01 | 11.722  |
| 300 - 350 | .000 | .000    | .000    | 3.136   | .154    | .000   | 3.290   | 6.09 | 4.833   |
| 350 - 400 | .000 | .000    | .000    | 1.080   | .103    | .000   | 1.183   | 6.17 | 1.542   |
| 400 - 450 | .000 | .000    | .000    | .000    | .257    | .000   | .257    | 8.00 | .360    |
| 450 - 500 | .000 | .000    | .000    | .000    | .051    | .000   | .051    | 8.00 | .103    |
| 500 - 550 | .000 | .000    | .000    | .000    | .051    | .000   | .051    | 8.00 | .051    |
| 550 - 600 | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .000   | .000    | .00  | .000    |
| 600 - 650 | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .000   | .000    | .00  | .000    |
| 650 - 700 | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .000   | .000    | .00  | .000    |
| 700 - 750 | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .000   | .000    | .00  | .000    |
| >750      | .000 | .000    | .000    | .000    | .000    | .000   | .000    | .00  | .000    |
| ALLE      | .000 | .257    | 46.272  | 52.134  | 1.285   | .051   | 100.000 | 5.09 | 100.000 |
| XGEM      | .00  | 35.00   | 94.22   | 139.15  | 247.00  | 225.00 | 145.59  |      |         |

Bijlage 20

De gevoeligheidsanalyse is aan de hand van de component golven/ getij uitgevoerd. Deze situatie komt 185 dagen per jaar voor. Raai 27.00 heeft als basis gediend voor deze toetsing.

Op twee manieren is gekeken naar de keuze van meest geschikte transport formule:

- Door het wijzigen (+/- 10%) van o.a. de brekerindex, sedimenteigenschappen, golfperioden, golfhoogten en getijstromen treden er veranderingen van transportcapaciteiten op. Voor de keuze van de meest geschikte/ betrouwbare transportformule is gekeken naar de kleinste gemiddelde afwijking van deze formule's t.o.v. de gemiddelde voorkomende (=gebaseerd op waarnemingen) waarden.

|  | Engelund-Hansen  | Bijker           | van Rijn         | Bailard          |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|
| gem. voork. waarden                                      | $729 \cdot 10^3$ | $355 \cdot 10^3$ | $335 \cdot 10^3$ | $119 \cdot 10^3$ |
| golfperiode +10%   | $748 \cdot 10^3$ | $358 \cdot 10^3$ | $369 \cdot 10^3$ | $131 \cdot 10^3$ |
| golfperiode -10%   | $657 \cdot 10^3$ | $338 \cdot 10^3$ | $287 \cdot 10^3$ | $98 \cdot 10^3$  |
| getijstroom +10%   | $792 \cdot 10^3$ | $390 \cdot 10^3$ | $374 \cdot 10^3$ | $130 \cdot 10^3$ |
| getijstroom -10%   | $646 \cdot 10^3$ | $316 \cdot 10^3$ | $299 \cdot 10^3$ | $104 \cdot 10^3$ |
| $D_{50} = 0,18 \text{ mm}$<br>$D_{90} = 0,25 \text{ mm}$ | $650 \cdot 10^3$ | $441 \cdot 10^3$ | $369 \cdot 10^3$ | $130 \cdot 10^3$ |
| $D_{50} = 0,22 \text{ mm}$<br>$D_{90} = 0,35 \text{ mm}$ | $650 \cdot 10^3$ | $328 \cdot 10^3$ | $288 \cdot 10^3$ | $110 \cdot 10^3$ |
| golfhoogte +10%  | $774 \cdot 10^3$ | $366 \cdot 10^3$ | $381 \cdot 10^3$ | $129 \cdot 10^3$ |
| golfhoogte -10%  | $639 \cdot 10^3$ | $330 \cdot 10^3$ | $280 \cdot 10^3$ | $102 \cdot 10^3$ |
| gem. afwijking t.o.v.<br>gem. voork. waarden             | 12%              | 8%               | 11%              | 11%              |
| waarden $\cdot m^3/185$ dagen                            |                  |                  |                  |                  |

Naar aanleiding van bovenvermelde waarden kunnen de volgende kanttekeningen geplaatst worden:

- golfperiode: Bijker-formule nauwelijks gevoelig voor periode veranderingen. Baillard relatief gevoelig.

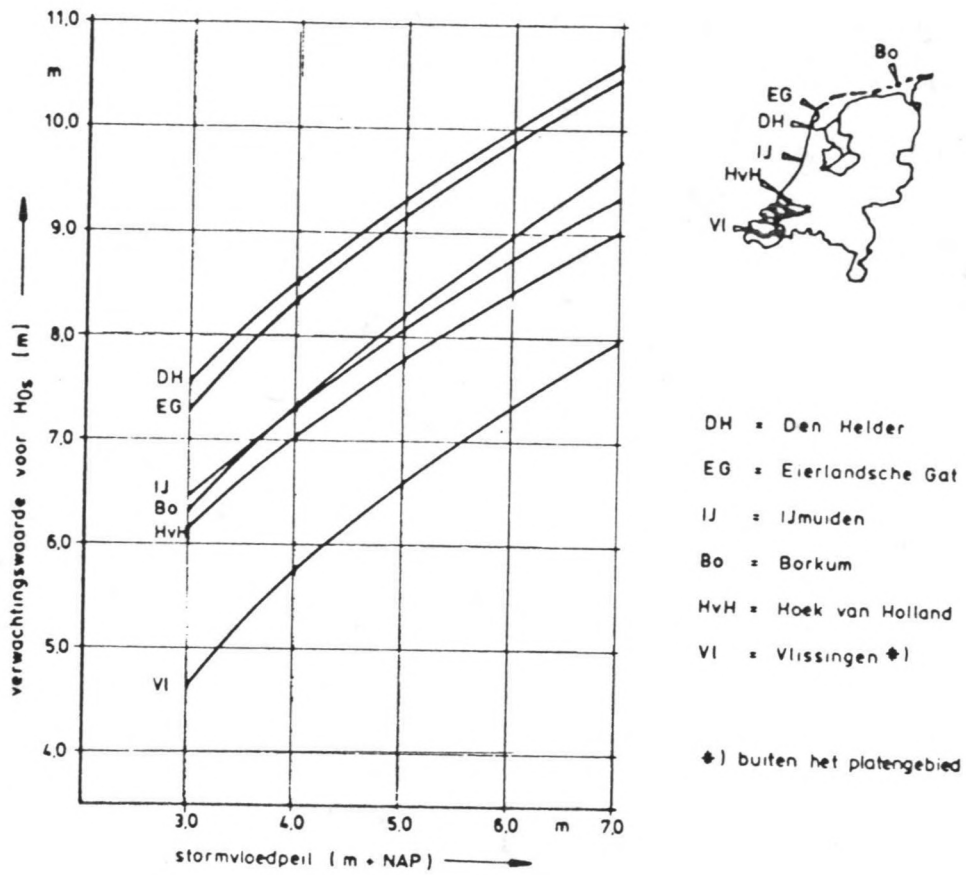
- getijstroom: Voor alle vier formule's een lineair verband; +/- 10% verandering in stroomsnelheid geeft eveneens +/- 10% transportcapaciteit verandering.
- golfhoogte: Bijker-formule minst gevoelig t.o.v. overige formule's. Van Rijn vrij gevoelig.
- korreldiameter: (goed meetbaar), Bijker-formule relatief gevoelig, van Rijn beter.
- brekerindex: Geeft voor alle vier formule's vrij grote afwijkingen te zien.

Alle 'natuurlijke'-invoerwaarden vertonen een grote spreiding in voorkomen (t.g.v. afleesfouten, onnauwkeurigheden, aanname's, enz.); in de morfologie moet men er van doordrongen zijn dat grote afwijkingen in berekeningen kunnen optreden als gevolg van deze grote spreidingen.

- De tweede toetsing bestond uit de vergelijking tussen de opgetreden inhoudsveranderingen (kuberingen) en de transportcapaciteitstoename tussen de raaien 27.00 en 31.00. De inhoudsverandering tussen deze twee raaien bedraagt voor de periode 1970-1979:  $210 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$ . Deze waarde is afgeleid uit de inhoudsberekeningen op bladzijde 22 van dit verslag.

|          | langstransportverschil<br>over de twee raaien  | verschil t.o.v. kubering     |
|----------|--|------------------------------|
| E.H.     | $175 \cdot 10^3 \text{ m}^3/185 \text{ dagen}$ | $35 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  |
| Bijker   | $194 \cdot 10^3 \text{ m}^3/185 \text{ dagen}$ | $16 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  |
| van Rijn | $48 \cdot 10^3 \text{ m}^3/185 \text{ dagen}$  | $162 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ |
| Bailard  | $92 \cdot 10^3 \text{ m}^3/185 \text{ dagen}$  | $118 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ |

Uit deze tabel kan geconcludeerd worden dat het transportcapaciteitsverschil berekend met de Bijker-formule, de geringste afwijking vertoont t.o.v. de kuberingen. De overige transportformule's geven te grote afwijkingen.



Bijlage 21

verwachtingswaarde van de significante golfhoogte als functie van het stormvloedpeil op enkele locaties voor de Nederlandse kust.





## S11: ALFANUMERIEKE PRESENTATIE

februari 1990

waterloopkundig laboratorium

Raai 27 texel

|  |      |                |      |                |             |
|--|------|----------------|------|----------------|-------------|
| Kustvak  | 1    | Jaar           | 1988 |                |             |
| Raainummer   | 2700 | Datum H meting | 1    | Datum D meting | 1           |
| Aanzanding (excl. invloed langtransport)                   |      |                |      | =              | 28.90 (m3)  |
| Afslag (excl. invloed langtransport)                       |      |                |      | =              | -28.90 (m3) |
| Afslag boven rekenpeil (excl. invloed langstr.)            |      |                |      | =              | -19.59 (m3) |
| Toeslag op afslag boven rekenpeil                          |      |                |      | =              | -24.90 (m3) |
| Aanzandafstand   |      | (X[A]-X[B])    |      | =              | 171.77 (m)  |
| Afslagafstand  |      | (X[B]-X[E])    |      | =              | 16.29 (m)   |
| Extraverschuifafstand tgv langtransport (in BC)            |      |                |      | =              | .00 (m)     |
| Verschuifafstand incl. langtransport (X[B]-X[C])           |      |                |      | =              | 13.36 (m)   |
| Verschuifafstand voor de toeslag (X[C]-X[D])               |      |                |      | =              | 6.93 (m)    |
| Verschuifafstand incl. langtransport + toeslag (X[B]-X[D]) |      |                |      | =              | 20.29 (m)   |
| Xcoord. van afslagprofiel op rekenpeil (X[C])              |      |                |      | =              | 107.47 (m)  |
| Xcoord. afslag+toeslagprofiel op rekenpeil (X[D])          |      |                |      | =              | 100.55 (m)  |

HELP: functie toets F1

PgUp/PgDn/Rtrn: terug naar keuze grafische/alfanumerieke presentatie

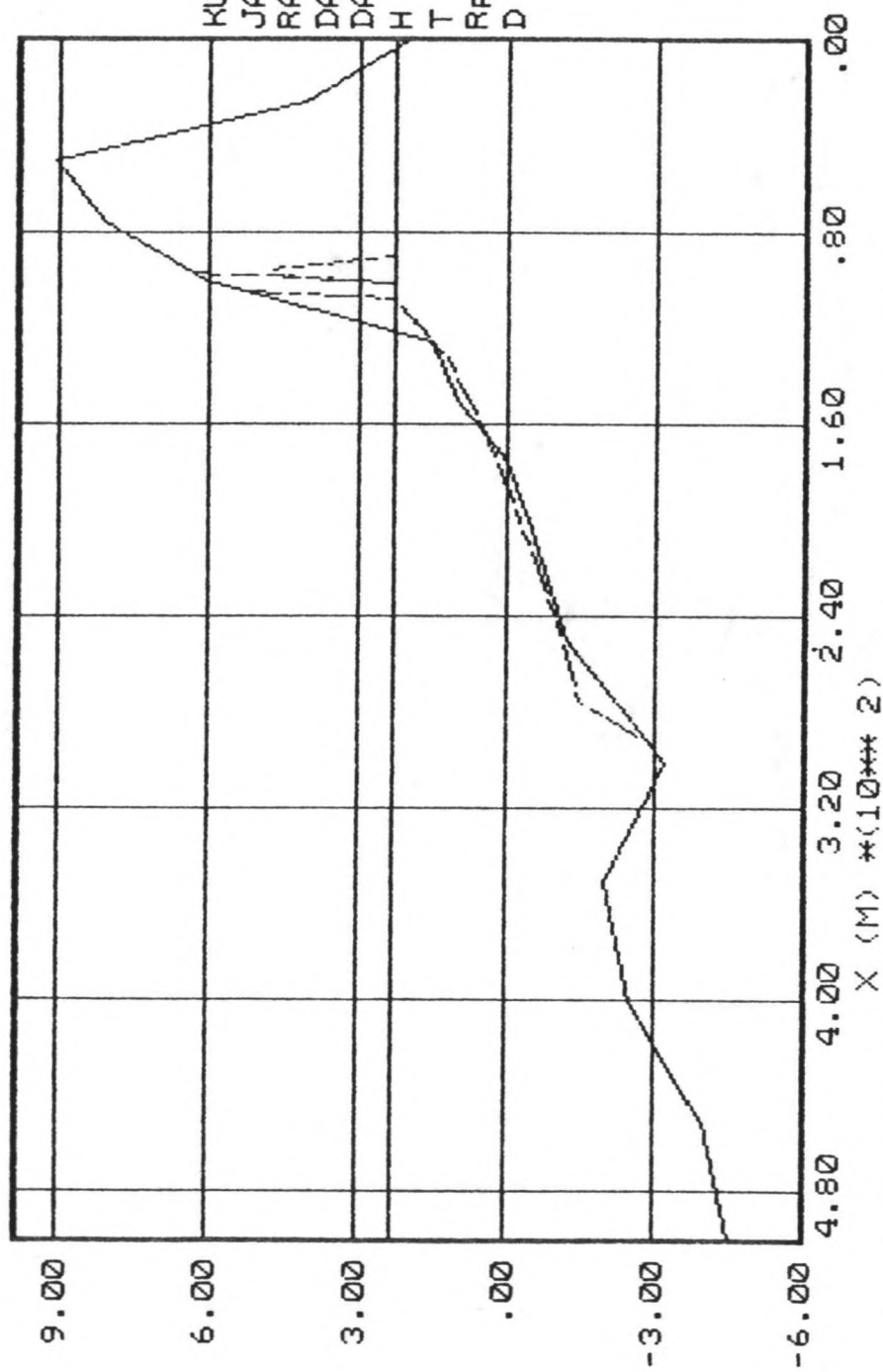
Raai 27 texel

— DUINPROFIEL

— AFSLAGPROFIEL ZONDER TOESLAG

— AFSLAGPROFIEL MET TOESLAG

— GRENSPROFIEL



KUSTVAKNR 1  
JAAR 1988  
RAAINR 2700  
DAT H METING 1  
DAT D METING 1  
H (M) 5.00  
T (S) 8.00  
RP (M) tov NAP 2.25  
D (M\*1.0E-6) 200.00

DUINAF 1.00

rijkswaterstaat

## S11: ALFANUMERIEKE PRESENTATIE

februari 1990

waterloopkundig laboratorium

Duinafslag Texel raai 2900

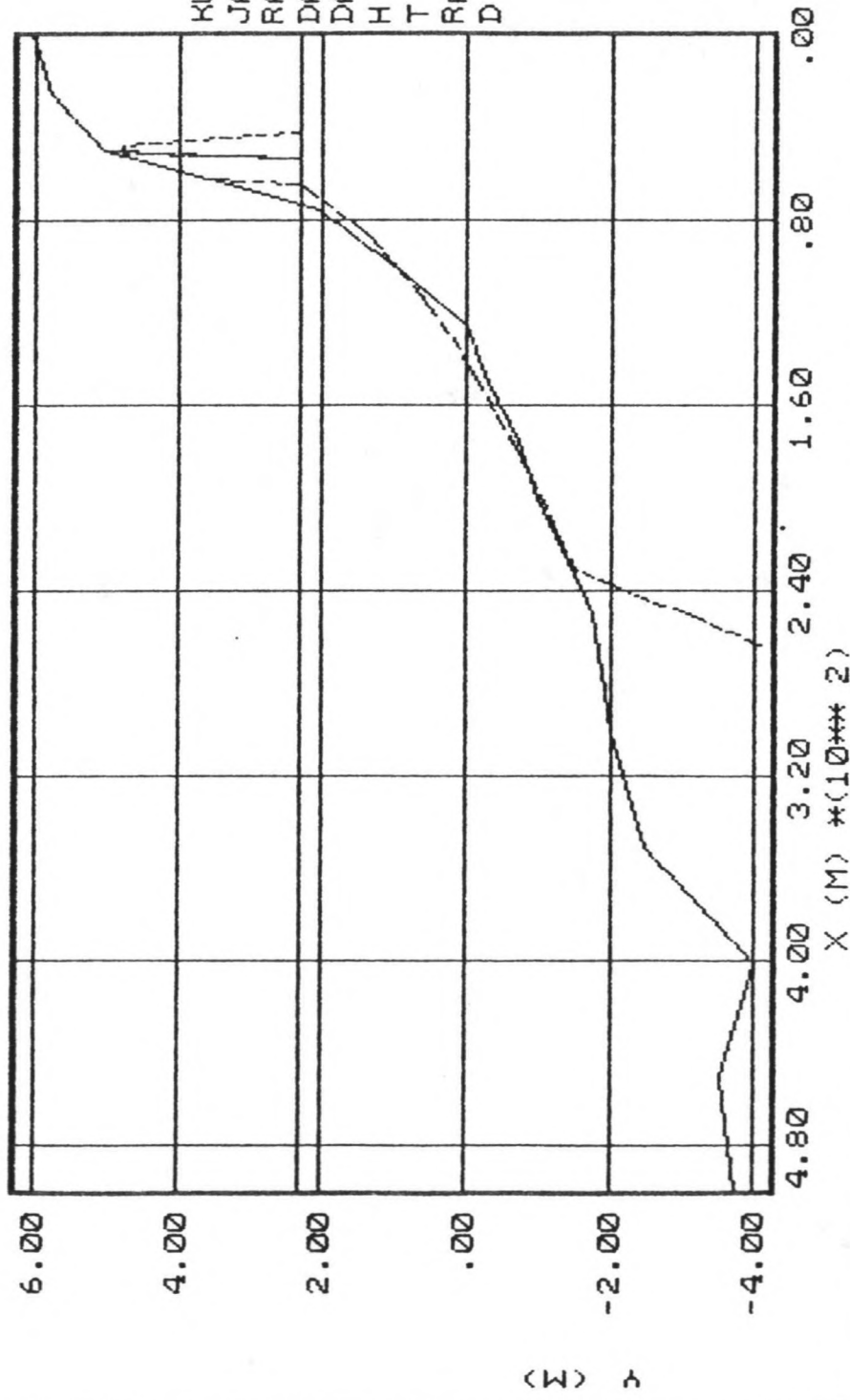
|  |      |                |             |                |             |
|--|------|----------------|-------------|----------------|-------------|
| Kustvak  | 6    | Jaar           | 1988        |                |             |
| Raainummer   | 2900 | Datum H meting | 1111        | Datum D meting | 1111        |
| Aanzanding (excl. invloed langtransport)                   |      |                |             | =              | 12.04 (m3)  |
| Afslag (excl. invloed langtransport)                       |      |                |             | =              | -12.04 (m3) |
| Afslag boven rekenpeil (excl. invloed lanostr.)            |      |                |             | =              | -5.65 (m3)  |
| Toeslag op afslag boven rekenpeil                          |      |                |             | =              | -21.41 (m3) |
| Aanzandafstand   |      |                | (X[A]-X[B]) | =              | 118.67 (m)  |
| Afslagafstand  |      |                | (X[B]-X[E]) | =              | 10.34 (m)   |
| Extraverschuifafstand tov langtransport (in BC)            |      |                |             | =              | .00 (m)     |
| Verschuifafstand incl. langtransport (X[B]-X[C])           |      |                |             | =              | 9.10 (m)    |
| Verschuifafstand voor de toeslag (X[C]-X[D])               |      |                |             | =              | 10.82 (m)   |
| Verschuifafstand incl. langtransport + toeslag (X[B]-X[D]) |      |                |             | =              | 19.92 (m)   |
| Xcoord. van afslaaprofiel op rekenpeil (X[C])              |      |                |             | =              | 63.81 (m)   |
| Xcoord. afslag+toeslagprofiel op rekenpeil (X[D])          |      |                |             | =              | 53.00 (m)   |

HELP: functie toets F1

PgUp/PgDn/Rtrn: terug naar keuze grafische/alphanumerieke presentatie

Duinafslag Texel raai 2900

——— DUINPROFIEEL  
 - - - AFSLAGPROFIEEL ZONDER TOESLAG  
 ——— AFSLAGPROFIEEL MET TOESLAG  
 - - - GRENSPROFIEEL



KUSTVAKNR 6  
 JAAR 1988  
 RAAINR 2900  
 DAT H METING 1111  
 DAT D METING 1111  
 H (M) 5.00  
 T (S) 8.00  
 RP (M) tov NAP 2.25  
 D (M\*1.0E-6) 200.00

DUINAF 1.00

rijkswaterstaat

## S11: ALFANUMERIEKE PRESENTATIE

februari 1990

waterloopkundig laboratorium

Texel raai 31.00

|   |    |                |             |                |             |
|---|----|----------------|-------------|----------------|-------------|
| Kustvak   | 6  | Jaar           | 1988        |                |             |
| Raainummer                                      | 31 | Datum H meting | 1           | Datum D meting | 1           |
| Aanzanding (excl. invloed langtransport)        |    |                |             | =              | 33.45 (m3)  |
| Afslag (excl. invloed langtransport)            |    |                |             | =              | -33.44 (m3) |
| Afslag boven rekenpeil (excl. invloed langstr.) |    |                |             | =              | -25.45 (m3) |
| Toeslag op afslag boven rekenpeil               |    |                |             | =              | -26.36 (m3) |
| Aanzandafstand                                  |    |                | (X[A]-X[B]) | =              | 106.15 (m)  |
| Afslagafstand                                   |    |                | (X[B]-X[E]) | =              | 19.46 (m)   |
| Extraverschuifafstand tgv langtransport (in BC) |    |                |             | =              | .00 (m)     |
| Verschuifafstand incl. langtransport            |    |                | (X[B]-X[C]) | =              | 16.35 (m)   |
| Verschuifafstand voor de toeslag                |    |                | (X[C]-X[D]) | =              | 6.98 (m)    |
| Verschuifafstand incl. langtransport + toeslag  |    |                | (X[B]-X[D]) | =              | 23.33 (m)   |
| Xoord. van afslagprofiel op rekenpeil           |    |                | (X[C])      | =              | 233.65 (m)  |
| Xoord. afslag+toeslagprofiel op rekenpeil       |    |                | (X[D])      | =              | 226.67 (m)  |

HELP: functie toets F1

PgUp/PgDn/Rtrn: terug naar keuze grafische/alphanumerieke presentatie

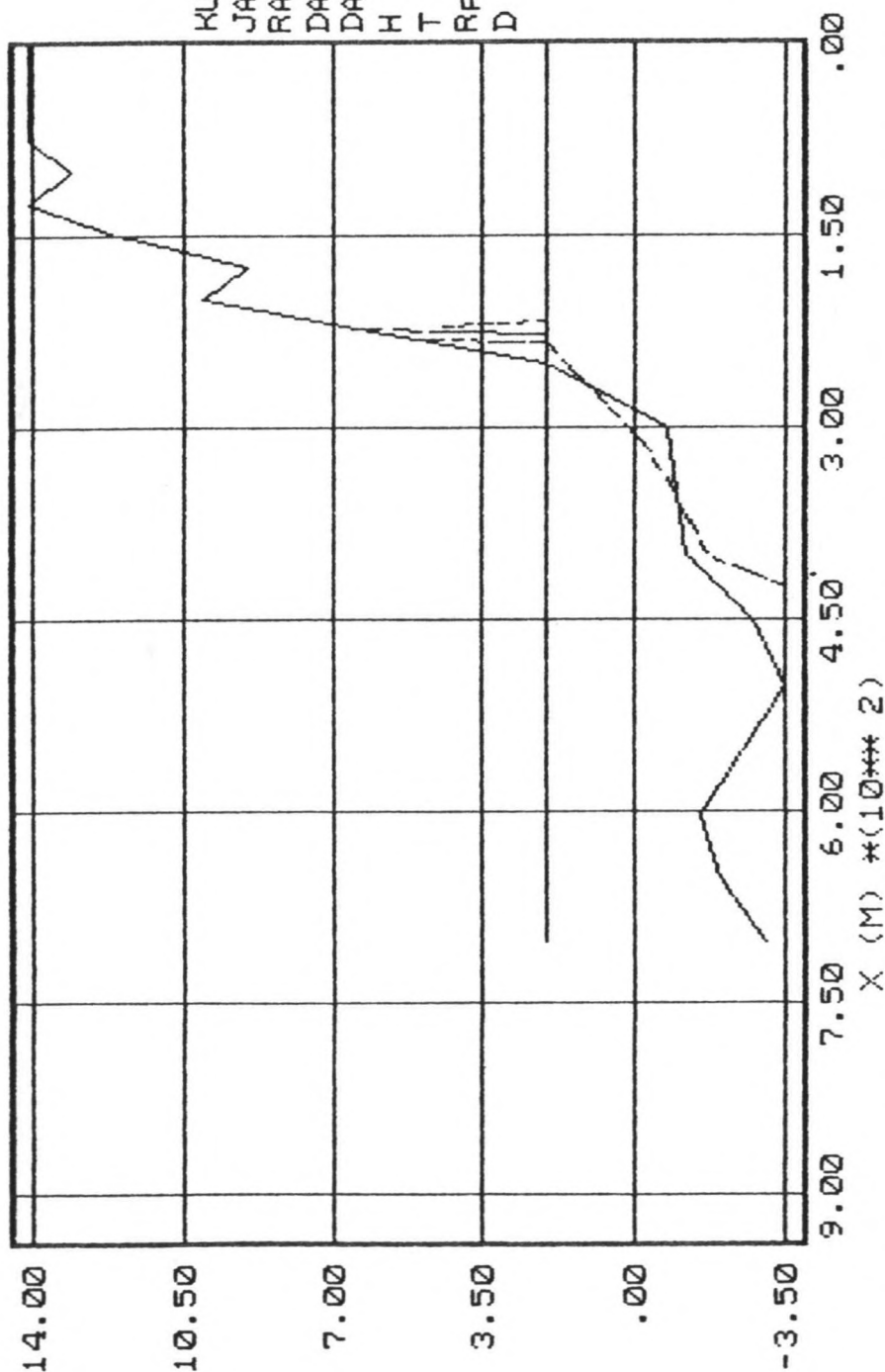
Texel raai 31.00

— DUINPROFIEEL

— AFSLAGPROFIEEL ZONDER TOESLAG

— AFSLAGPROFIEEL MET TOESLAG

— GRENSPROFIEEL



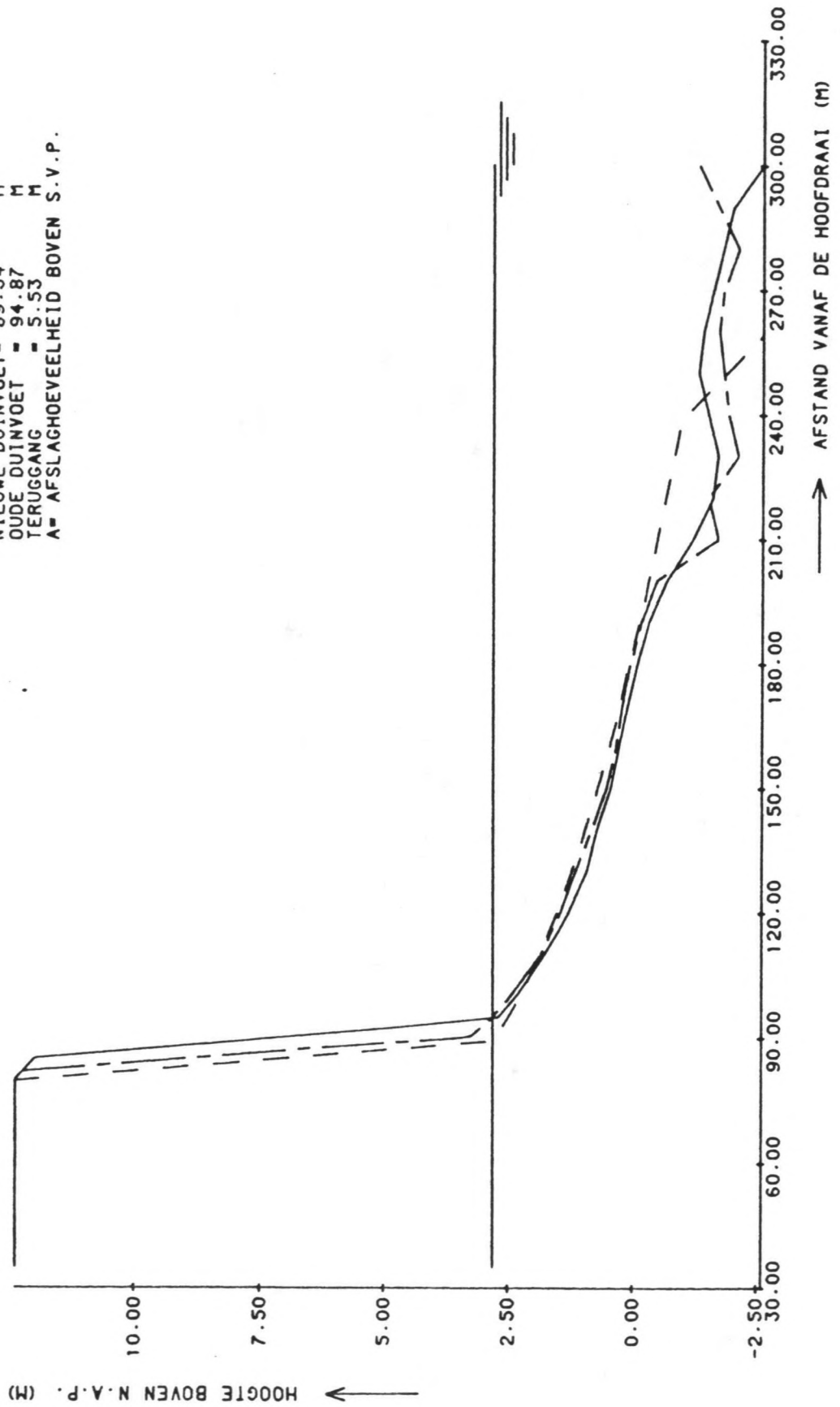
KUSTVAKNR 6  
 JAAR 1988  
 RAAINR 31  
 DAT H METING 1  
 DAT D METING 1  
 H (M) 5.00  
 T (S) 8.00  
 RP (M) tov NAP 2.00  
 D (M\*1.0E-6) 200.00

DUINAF 1.00

rijkswaterstaat



S.V.P.                    ■ 2.80                    M  
 HS                        ■ 5.00                    M  
 D50                      ■ 218                     M<sup>•10</sup> -6  
 VALSNELHEID        ■ 0.025732            M/S  
 A                         ■ 48.72                   M<sup>3</sup>/M  
 AFSLAGPUNT           ■ 79.74                   M  
 NIEUWE DUINVOET ■ 89.34                   M  
 OUDE DUINVOET     ■ 94.87                   M  
 TERUGGANG           ■ 5.53                    M  
 A= AFSLAGHOEVEELHEID BOVEN S.V.P.



BEREKENING DUINAFSLAG

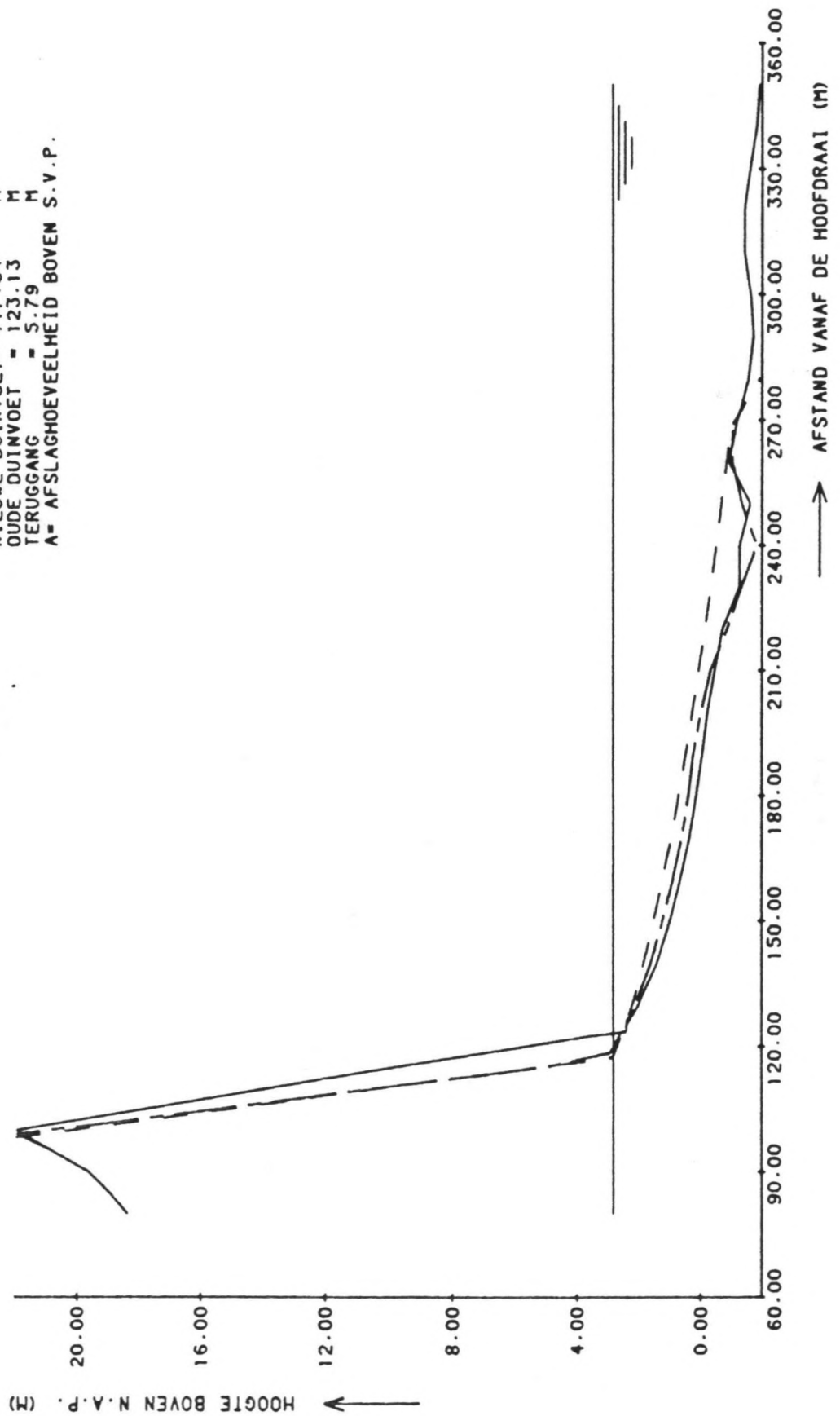
KMR :  
26.00

DATUM :  
1983

LOCATIE  
TEXEL

BIJLAGE 23

S.V.P. M  
 HS - 2.80 M  
 D50 - 5.00 M  
 VALSNELHEID - 215 M=10<sup>-6</sup>  
 A - 0.025270 M/S  
 AFSLAGPUNT - 75.50 M<sup>3</sup>/M  
 NIEUWE DUINVOET - 98.53 M  
 OUDE DUINVOET - 117.34 M  
 TERUGGANG - 123.13 M  
 A= AFSLAGHOEVEELHEID BOVEN S.V.P. M



BEREKENING DUINAFSLAG

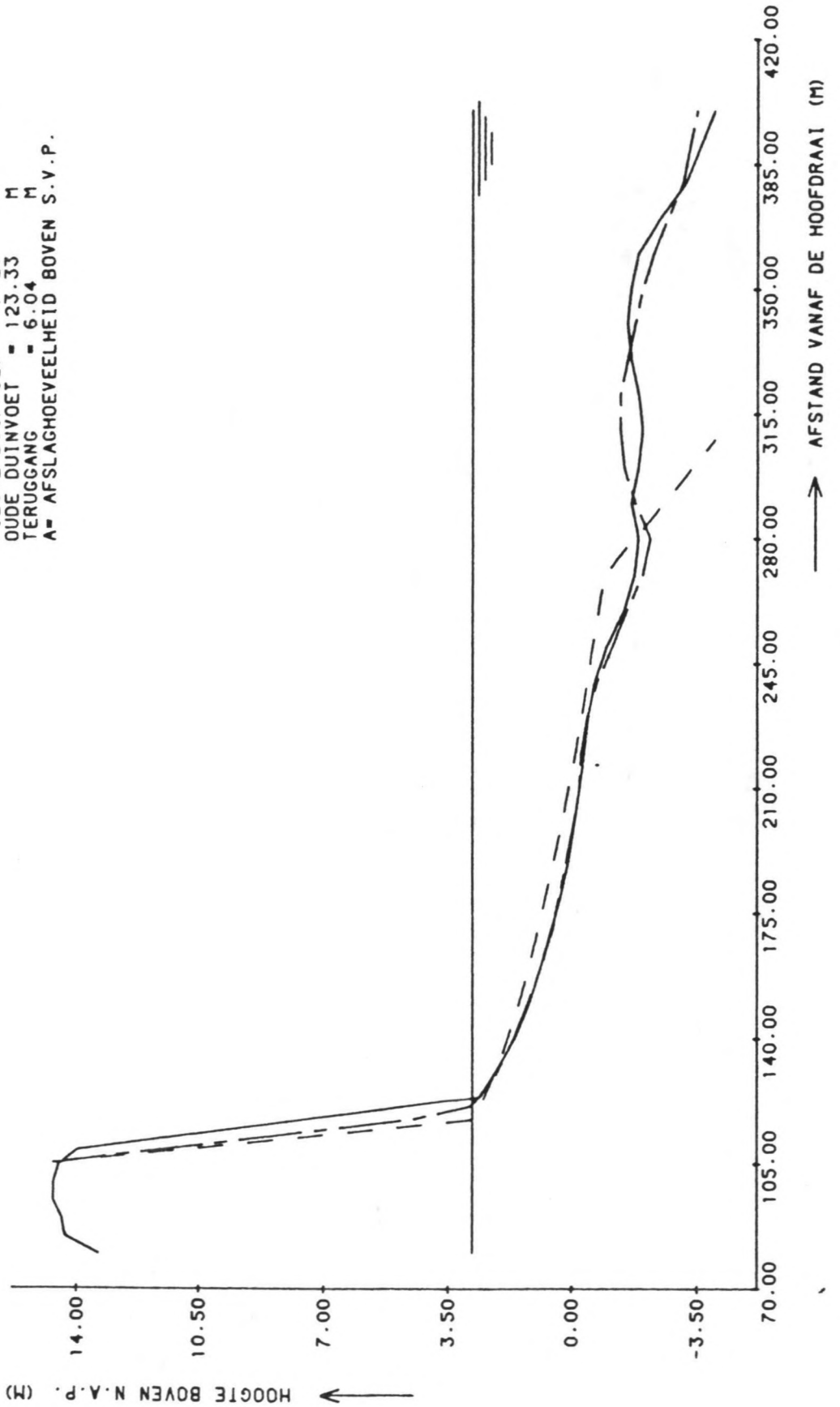
KMR :  
26.40

DATUM :  
1983

LOCATIE  
TEXEL

BIJLAGE 24

S.V.P.                    ■ 2.80                    M  
 HS                        ■ 5.00                    M  
 DSO                      ■ 212                     M\*10<sup>-6</sup>  
 VALSNELHEID        ■ 0.024808            M/S  
 A                         ■ 52.85                  M<sup>3</sup>/M  
 AFSLAGPUNT         ■ 105.68                M  
 NIEUWE DUISVOET ■ 117.29                M  
 OUDE DUISVOET     ■ 123.33                M  
 TERUGGANG         ■ 6.04                  M  
 A= AFSLAGHOEVEELHEID BOVEN S.V.P.



BEREKENING DUINAFSLAG

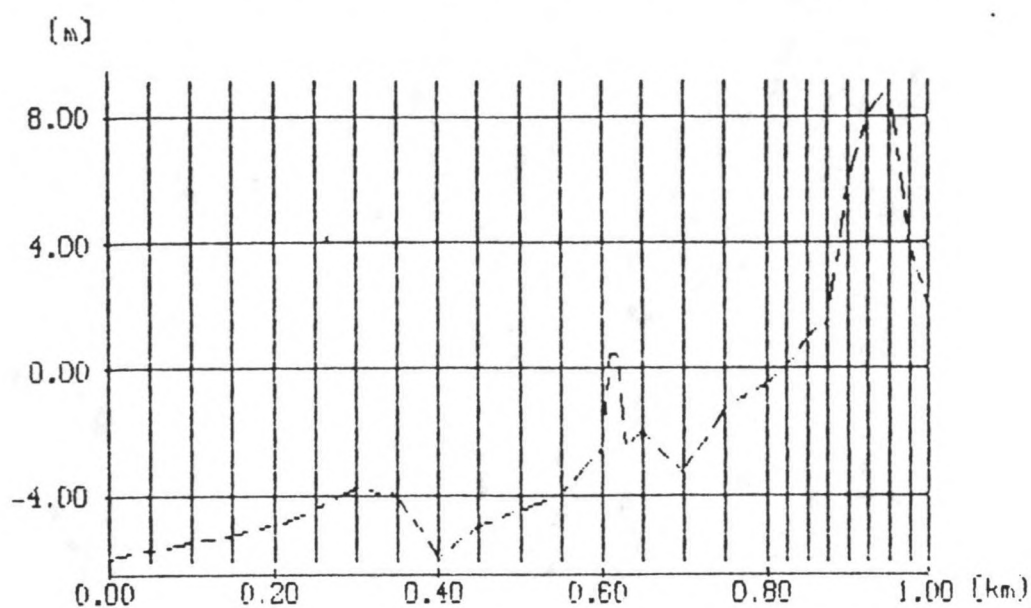
KMR :  
26.80

DATUM :  
1983

LOCATIE  
TEXEL

BIJLAGE 25

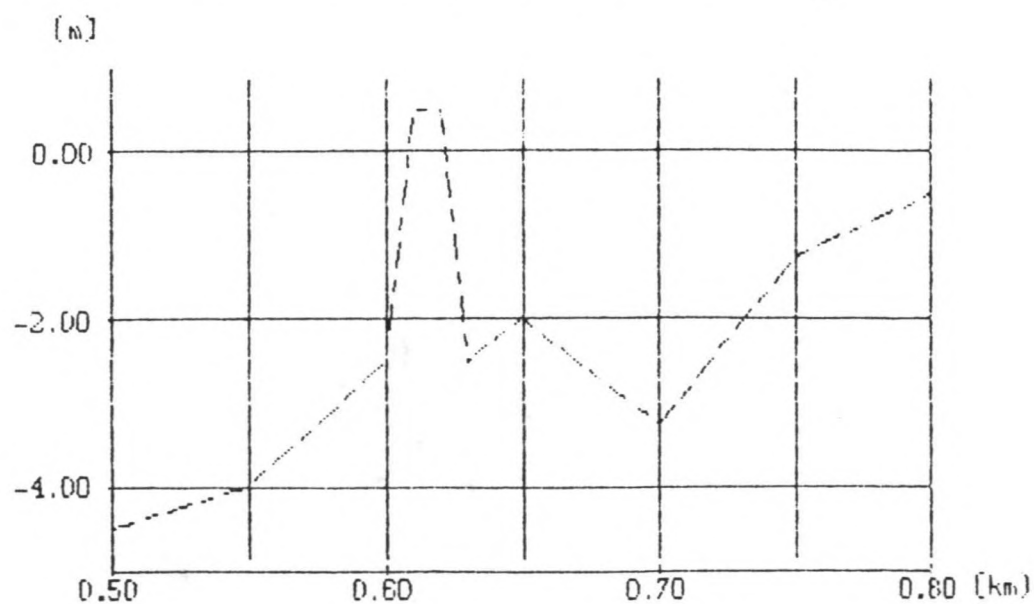
### Cross shore profile and grid



UNIBEST-LT 02.10

rijkswaterstaat

### Cross shore profile and grid

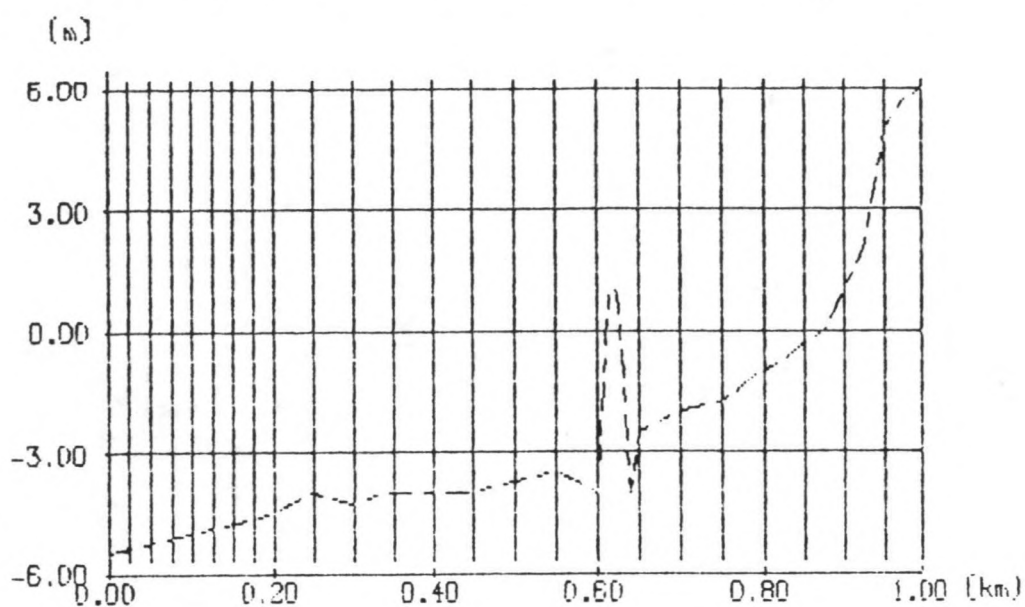


UNIBEST-LT 02.10

rijkswaterstaat

BIJLAGE 26

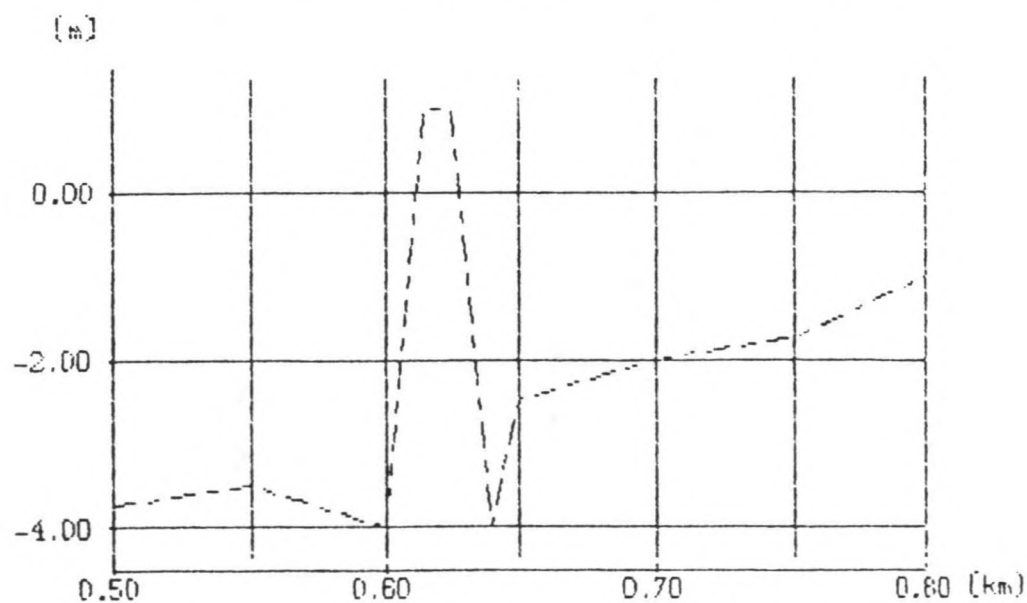
### Cross shore profile and grid



UNIBEST-LT 02.10

rijkswaterstaat

### Cross shore profile and grid

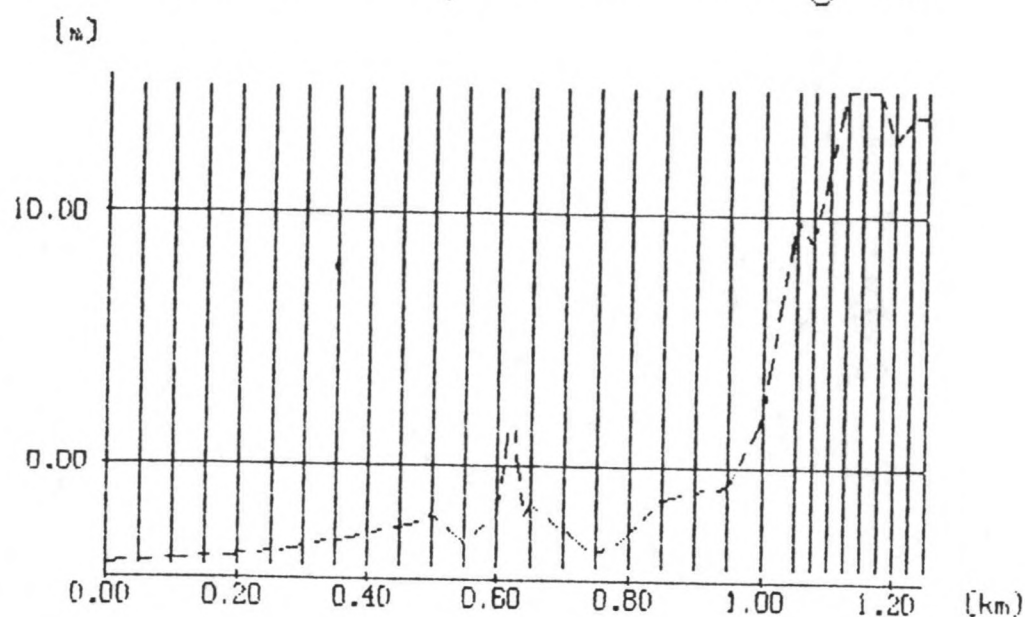


UNIBEST-LT 02.10

rijkswaterstaat

BIJLAGE 27

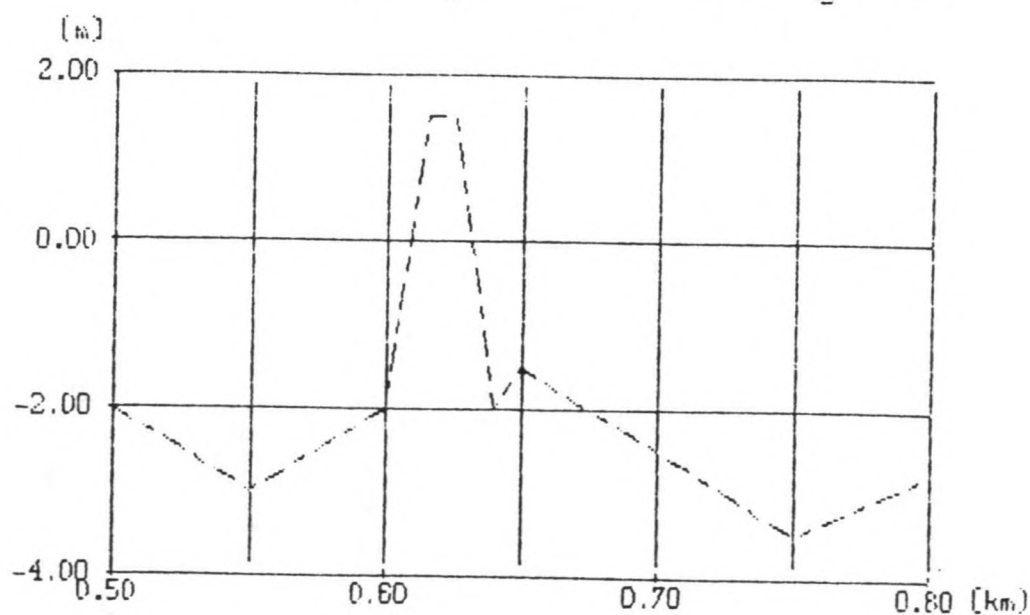
### Cross shore profile and grid



UNIBEST-LT 02.10

rijkswaterstaat

### Cross shore profile and grid



UNIBEST-LT 02.10

rijkswaterstaat

BIJLAGE 28

